



EKTU JOURNAL OF  
ARCHITECTURAL AND  
CONSTRUCTION SCIENCES



# EKTU JOURNAL OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION SCIENCES

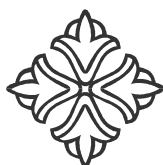
№ 2, 2026

ISSN (Print): 3134-8041  
ISSN (Online): 3134-805X

1-том, 2-нөмір, маусым, 2026.  
Том 1, № 2, июнь 2026.  
Vol. 1, Issue 2, June 2026.

---

# EKTU JOURNAL OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION SCIENCES



Жылына 4 рет шығады  
Выходит 4 раза в год  
Published 4 times a year

Өскемен, 2026  
Усть-Каменогорск, 2026  
Ust-Kamenogorsk, 2026

Бас редакторы

**Руденко О.В.,**

техника ғылымдарының кандидаты

Редакциялық алқа мүшелері:

Любин М.И., с.ғ.к. (Австрия)

Омуралиев Д.Д., с.ғ.д., профессор (Қырғызстан)

Мауленова Г.Д., с.ғ.д., қауымд. проф. (Қазақстан)

Глаутдинова М.Б., с.ғ.д., профессор (Қазақстан)

Исина А.З., PhD, қауымд. проф. м.а. (Қазақстан)

Рахимова Г.М., PhD (Қазақстан)

Дуйсенбеков Б.К., PhD (Қазақстан)

Усенкулов Ж.А., PhD (Қазақстан)

Жұмаділов І.Т., PhD (Қазақстан)

Герасимов Е.П., т.ғ.к. (Ресей)

Главный редактор

**Руденко О.В.,**

кандидат технических наук

Члены редакционной коллегии:

Любин М.И., к.а. (Австрия)

Омуралиев Д.Д., д.а., профессор (Кыргызстан)

Мауленова Г.Д., д.а, ассоц. проф. (Казахстан)

Глаутдинова М.Б., д.а., профессор (Казахстан)

Исина А.З., PhD, и.о. ассоц. проф. (Казахстан)

Рахимова Г.М., PhD (Казахстан)

Дуйсенбеков Б.К., PhD (Казахстан)

Усенкулов Ж.А., PhD (Казахстан)

Жұмаділов І.Т., PhD (Казахстан)

Герасимов Е.П., к.т.н. (Россия)

Editor-in-Chief

**Olga Rudenko,**  
Candidate of Technical Sciences

Editorial Board Members:

Mikhail Lyubin, Candidate of Architecture (Austria)

Duishobek Omuraliev, Doctor of Architecture, Professor (Kyrgyzstan)

Gulnara Maulenova, PhD in Architecture, Associate Professor (Kazakhstan)

Mehirbanu Glautdinova, Doctor of Architecture, Professor (Kazakhstan)

Asem Isina, PhD, Acting Associate Professor (Kazakhstan)

Galiya Rakhimova, PhD (Kazakhstan)

Bolat Duisenbekov, PhD (Kazakhstan)

Zhenisbek Usenkulov, PhD (Kazakhstan)

Iliyas Zhumadilov, PhD (Kazakhstan)

Evgeny Gerasimov, Candidate of Technical Sciences (Russian Federation)

[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_1](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_1)  
SRSTI 67.11.31

## КОРРОЗИОННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ: ОЦЕНКА, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ И ЗАЩИТА

## ТЕМІРБЕТОНДАҒЫ АРМАТУРАНЫҢ КОРРОЗИЯЛЫҚ ДЕГРАДАЦИЯСЫ: БАҒАЛАУ, БОЛЖАУ, ТАЛДАУ ЖӘНЕ ҚОРҒАУ

## CORROSION-INDUCED DEGRADATION OF REINFORCING BARS IN REINFORCED CONCRETE: ASSESSMENT, PREDICTION, ANALYSIS, AND PROTECTION

L. Abdrasilov <sup>1</sup>, N.B. Kudaibergenov <sup>2</sup>, G.T. Tleulnova <sup>2</sup>, K.R. Fazylov <sup>2</sup>,  
Zh.A. Shakhmov <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Mukhtar Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

\*Corresponding author: shakhmov\_zha@enu.kz

### keywords:

corrosion wear, corrosion processes, reinforced concrete structures, structural inspection, protection, durability, economic losses, anti-corrosion measures, construction standards, structural safety.

### ABSTRACT

The article examines the main aspects of corrosion impact on reinforced concrete structures of buildings, including the mechanisms of corrosion damage, factors contributing to this process, and the consequences for the strength and durability of construction objects. Various types of corrosion are analyzed, such as uniform, localized, and electrochemical corrosion, as well as methods for diagnosing and assessing the condition of reinforced concrete structures. Particular attention is given to modern corrosion protection technologies, including anti-corrosion coatings and cathodic protection. In conclusion, the importance of regular monitoring and preventive measures is emphasized to ensure the safety and reliability of buildings under the influence of aggressive environmental factors. The article will be useful for engineers, architects, and construction specialists, as well as for students of related fields.

### Түйінді сөздер:

коррозиялықтозу, коррозиялық процестер, темірбетон конструкциялар, құрылыс конструкцияларын зерттеу, қорғау, ұзақ мерзімділік, экономикалық шығындар, антикоррозиялық шаралар, құрылыс нормалары, конструкциялардың қауіпсіздігі.

### ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада ғимараттардың темірбетон конструкцияларына коррозияның әсер етуінің негізгі аспектілері қарастырылады. Онда коррозиялық бұзылу механизмдері, осы үдерісті күшейтетін факторлар және құрылыс нысандарының беріктігі мен ұзақ қызмет ету мерзіміне тигізетін салдары сипатталады. Коррозияның түрлі түрлері — біркелкі, жергілікті және электрохимиялық түрлері талданады, сондай-ақ темірбетон конструкциялардың жағдайын диагностикалау мен бағалау әдістері қарастырылады. Ерекше назар коррозиядан қорғаудың заманауи технологияларына, соның ішінде антикоррозиялық жабындарға және катодтық қорғауға аударылады.





Қорытынды бөлімде ғимараттардың қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ету үшін жүйелі мониторинг пен алдын алу шараларының маңыздылығы атап өтіледі. Мақала инженерлерге, сәулетшілерге, құрылыс саласының мамандарына және осы бағыттағы студенттерге пайдалы болмақ.

**Ключевые слова:**

коррозионный износ, коррозионные процессы, железобетонные конструкции, обследование строительных конструкций, защита, долговечность, экономические потери, антикоррозийные мероприятия, строительные нормы, безопасность конструкций.

**АННОТАЦИЯ**

В статье рассматриваются основные аспекты воздействия коррозии на железобетонные конструкции зданий, включая механизмы коррозионного разрушения, факторы, способствующие этому процессу, и последствия для прочности и долговечности строительных объектов. Анализируются различные виды коррозии, такие как равномерная, местная и электрохимическая, а также методы диагностики и оценки состояния железобетонных конструкций. Особое внимание уделяется современным технологиям защиты от коррозии, включая антикоррозионные покрытия и катодную защиту. В заключение подчеркивается важность регулярного мониторинга и профилактических мероприятий для обеспечения безопасности и надежности зданий в условиях воздействия агрессивных внешних факторов. Статья будет полезна инженерам, архитекторам и специалистам в области строительства, а также студентам профильных направлений.

**INTRODUCTION**

Reinforced concrete structures are key elements of modern building infrastructure, whose durability and load-bearing capacity depend on maintaining the integrity of steel reinforcement. One of the main factors leading to premature failure of such structures is corrosion of reinforcement initiated by exposure to aggressive environments (chlorides, carbon dioxide, moisture). This problem is global in scale, due to the widespread use of reinforced concrete, and leads to significant economic losses associated with repairs and risks to the safety of structures.

Scientific literature has studied individual corrosion mechanisms (uniform, electrochemical, pitting) in considerable detail and developed a wide range of protection methods, from passive (coatings, inhibitors) to active (cathodic protection). However, existing approaches are often fragmented. There is a shortage of integrated systems that would combine predictive diagnostics based on monitoring key parameters, mathematical modelling of corrosion rates, and adaptive planning of protective measures throughout the entire life cycle of a structure. This integrative gap limits the possibilities for timely and cost-effective management of corrosion risks.

The research hypothesis is that the development and implementation of a comprehensive methodology for assessing and predicting the corrosion condition of reinforced concrete structures, based on systematic monitoring of physicochemical, electrochemical and mechanical parameters, will significantly improve the accuracy of diagnostics, optimise the timing and methods of protective interventions and, as a result, increase the residual life and overall reliability of structures.

The aim of this study is to systematise current knowledge about the mechanisms of reinforcement corrosion in reinforced concrete structures, analyse existing diagnostic and protection methods, and develop proposals for a comprehensive assessment of the corrosion condition of structures based on the integration of non-destructive testing technologies, mathematical modelling and monitoring of key parameters. The study aims to structure the information necessary to move from local damage assessment to a comprehensive forecast of residual life, which is a pressing issue in the field of ensuring the reliability and safety of

construction projects. To achieve this goal, it is necessary to solve problems that will enable a transition from reactive measures to eliminate the consequences of corrosion to a proactive system for managing the corrosion safety of reinforced concrete structures at all stages of their life cycle.

1. Conduct a systematic analysis of current knowledge about the mechanisms and factors that initiate and intensify corrosion of steel reinforcement in concrete.

2. Classify and evaluate the effectiveness of existing methods for diagnosing corrosion (visual, non-destructive testing, electrochemical) and protecting structures (passive and active).

3. Determine key parameters for a comprehensive corrosion index that reflects the degree of reinforcement wear, the condition of the protective concrete layer, and the aggressiveness of the environment.

4. Develop a conceptual model for predicting corrosion rates that integrates monitoring data and takes into account the influence of variable operating conditions.

5. Formulate practical recommendations for the application of an integrative approach to planning repair measures and justifying inter-repair intervals within the framework of regulatory and technical regulation.

The relevance and formulation of the research problem are determined by the following factors:

1. Technical and economic significance - reinforced concrete is the dominant material in global construction. Corrosion of reinforcement is the main cause of a reduction in its load-bearing capacity and durability, leading to enormous direct costs for repair and restoration, as well as indirect losses from facility downtime and risks to human life. Improving the effectiveness of corrosion control is of strategic importance for the sustainable development of infrastructure.

2. Despite extensive research into individual aspects of corrosion (mechanisms, protective materials), there is a lack of systematic solutions in practice, i.e. there is a gap between science and practice. Existing methods are often applied in isolation, without linking diagnostic data to predictive models to justify optimal timing and protection methods. This leads either to belated, emergency interventions or to unjustified costs for premature repairs.

3. The increasing aggressiveness of the environment and the dynamic nature of external factors (due to the use of de-icing agents, atmospheric pollution, extreme climatic phenomena) and the increase in the design life of critical infrastructure (bridges, nuclear power plants, high-rise buildings) require a transition from empirical approaches to scientifically based methods of structural resource management.

The study aims to overcome the fragmentation of existing knowledge and practices by synthesising diagnostics, forecasting and protection into a comprehensive system, which is a necessary step towards smart infrastructure asset management. Key current trends in research:

- a shift from passive protection (barrier coatings) to active and preventive protection (cathodic protection, inhibitors, self-compacting concrete);

- integration of non-destructive testing methods (ultrasound, thermography, radio wave methods) and electrochemical diagnostics (potential measurement, impedance spectroscopy) to assess the condition of reinforcement through concrete thickness;

- active development of digital modelling and the application of artificial intelligence to predict corrosion rates based on big data on materials and operating conditions;

- development of new composite materials (based on carbon fibres, nanomodified additives) both for strengthening structures and for performing protective functions;

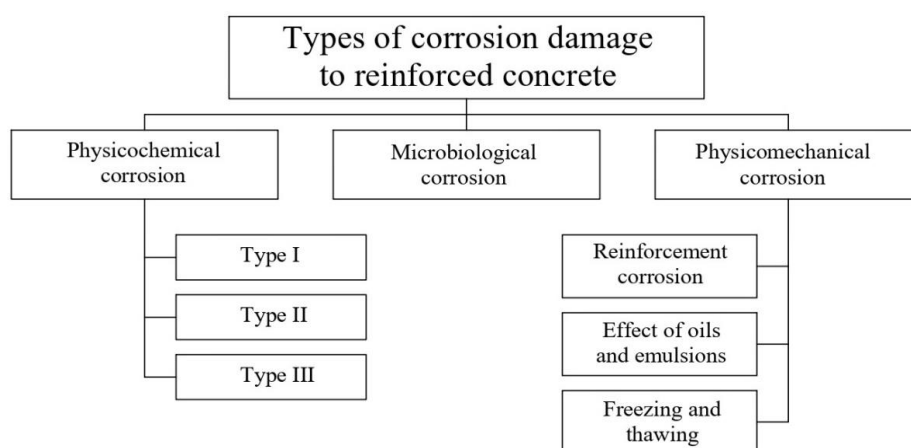
The central problem addressed by this study is the lack of a unified methodological platform that would allow for quantitative assessment of the current corrosion state of a structure based on an agreed set of parameters (comprehensive corrosion index); reliably predict

the remaining service life based on mathematical models verified by monitoring data; optimise decision-making on the choice of protection method, timing and scope of repair work, minimising the life cycle of the structure.

### MAIN PART

The authors in the article examined the main aspects of the impact of corrosion on steel structures, its causes, consequences, and protection methods. The durability characteristics of the samples are verified through regular monitoring of the time of corrosion initiation, the ratio of corrosion area, corrosion depth, and the amount of steel mass loss.

Corrosion is a natural process of material degradation that occurs as a result of chemical or electrochemical reactions with the surrounding environment. Steel structures used in the construction of buildings and facilities are subject to corrosion, which can lead to serious consequences, including a decrease in the strength, stability, and durability of the structures.



**Figure 1.** Types of corrosion in reinforced concrete structures (author's work)

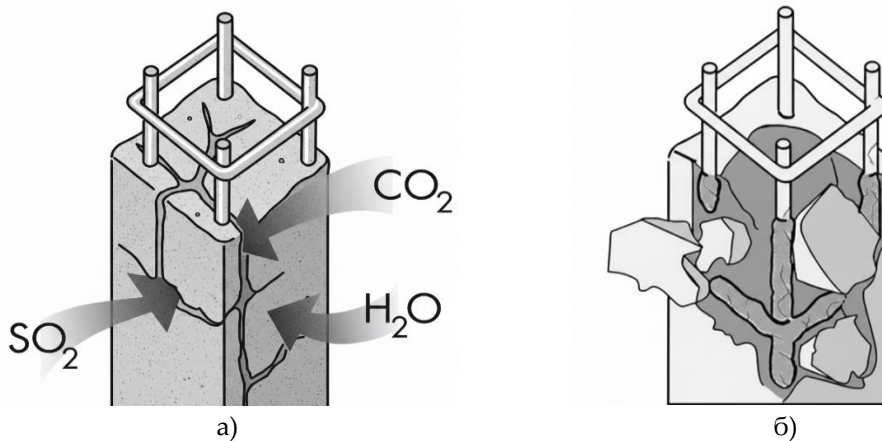
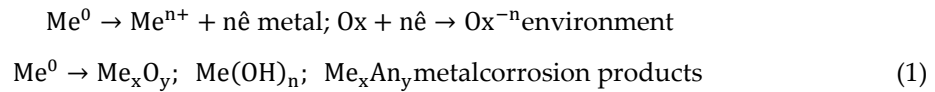
*Note – compiled by the authors*

Corrosion of steel reinforcement in concrete is one of the key problems affecting the service life and durability of reinforced concrete structures (fig. 1). The main cause of corrosion is considered to be the penetration of chloride ions and carbon dioxide into the concrete. Chloride ions can cause local destruction of the protective film on the steel reinforcement, leading to localized corrosion. At the same time, carbon dioxide reduces the pH level of the concrete, which in turn promotes the formation of corrosion areas on the reinforcement. Corrosion significantly weakens concrete, especially when exposed to aggressive environments. Penetrating through the concrete protection, chlorides and carbon dioxide destroy the steel surface, accelerating the deterioration of structures (Qiu, Feng & Wu, 2025).

Corrosion of steel reinforcement in concrete structures raises increasing concern due to its impact on economic costs, safety, and operational performance. Corrosion processes (Fig. 2) lead to the formation of spalling, cracks, and a reduction in the diameter of the reinforcement, which can negatively affect the structural integrity of the structures (Hameed et al., 2023).

In (Otieno et al., 2016), the author emphasizes that corrosion of steel components in concrete leads to cracking, a decrease in bond strength, a reduction in the cross-sectional area of the steel, and loss of serviceability. Reinforced concrete affected by corrosion not only loses its quality but also its structural integrity. Although modern technologies make it possible to successfully address corrosion issues (Waqas et al., 2023), the problem of corrosion remains relevant. The main mechanisms of corrosion in reinforced concrete are associated with the

interaction between concrete, reinforcement, and the surrounding environment, i.e., the thermodynamic instability of a system consisting of metal and environmental components ( $\Delta_r G < 0$ ), which can be expressed by the following reactions:



**Figure 2.** Concrete degradation under the influence of atmospheric and chemical factors: a) exposure to aggressive chemical components; b) reinforcement corrosion and concrete destruction (catalogue “Germann Instruments”, 2025)

*Note – compiled by the authors*

As is known, as a result of corrosion, the thickness of the metal (the diameter of the plate) decreases, i.e., the metal loses mass. From this, we can determine the rate of mass loss:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau}, \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{day}} \right] \quad (2)$$

and the rate of corrosion penetration into the metal, the depth indicator:

$$\Pi = \frac{h}{\tau}, \left[ \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right] \quad (3)$$

Let us consider this process in more detail. Penetration of the aggressive environment.

Corrosion of reinforcement in reinforced concrete begins with the penetration of aggressive substances (water, acids, chlorides, carbon dioxide, etc.) into the concrete. This may occur through microcracks in the concrete; pores and capillaries formed due to insufficient concrete density; or surface damage caused by mechanical effects or environmental exposure.

Degradation of the protective layer.

Under normal conditions, concrete provides protection for reinforcement due to its alkaline environment (pH around 12–13), which prevents corrosion. However, when aggressive substances penetrate the concrete, carbonation and chloride-induced corrosion occur. In the first case, carbon dioxide from the air dissolves in water and forms carbonic acid, which lowers the pH of the concrete, leading to the loss of the protective layer. In the second case, chlorides — for example, from seawater or de-icing agents — can cause corrosion of the reinforcement by breaking down the protective layer.

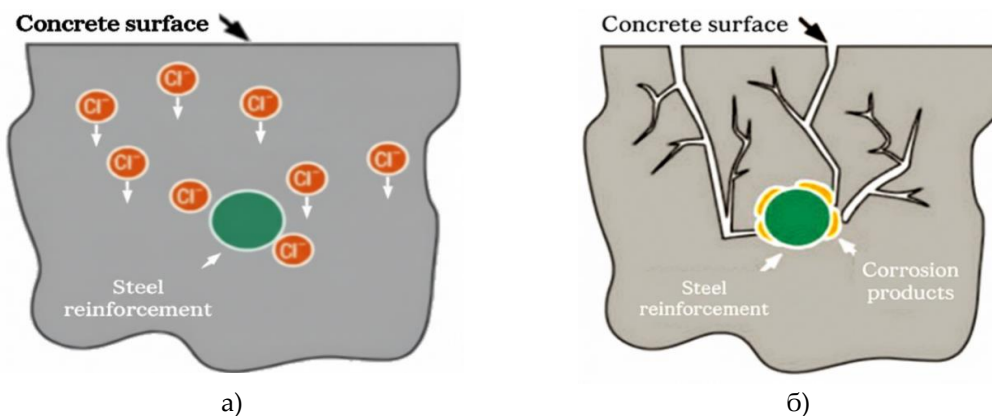
Reinforcement corrosion.

When the protective layer is damaged, the reinforcement begins to corrode. The corrosion process involves the oxidation of iron, resulting in the formation of iron oxides and hydroxides that expand in volume and create internal stresses. The corrosion products can cause further cracking in the concrete and deterioration of its strength properties.

Concrete destruction.

The increase in the volume of corrosion products leads to:

- the destruction of concrete around the reinforcement;
- the formation of cracks and delaminations, which reduce the strength and stability of the structure;
- increased permeability of the concrete, creating a self-sustaining cycle that promotes further penetration of aggressive substances (fig. 3).



**Figure 3.** Concrete degradation due to reinforcement corrosion:

- a) penetration of chloride ions into concrete; b) concrete destruction caused by the reinforcement corrosion process (catalogue "Germeticus", 2025)

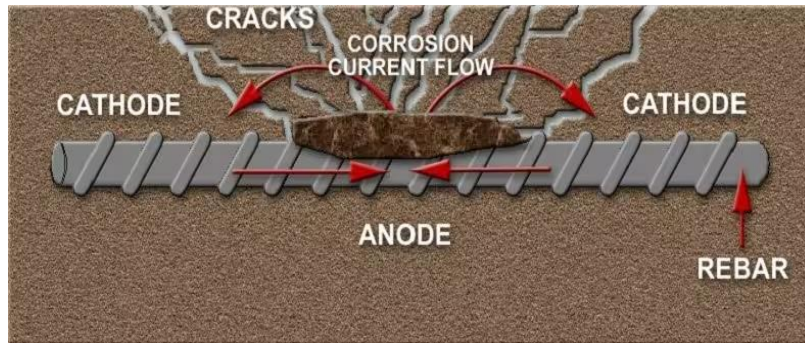
*Note – compiled by the authors*

The corrosion mechanism occurs as a result of an electrochemical reaction caused by the potential difference between the reinforcement and the surrounding concrete (fig. 4). As a result of this reaction, anodic and cathodic zones are formed, leading to the complete loss of the reinforcement's designed properties (fig. 5).



**Figure 4.** Reinforced concrete support of a road bridge on K. Satpayev Street (Astana) affected by corrosion (author's work)

*Note – compiled by the authors*

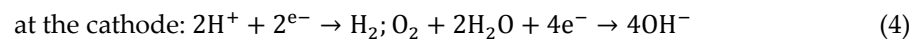
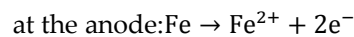


**Figure 5.** Formation of anode and cathode zones as a result of electrochemical corrosion (catalogue “John P. Broomfield”,2020)

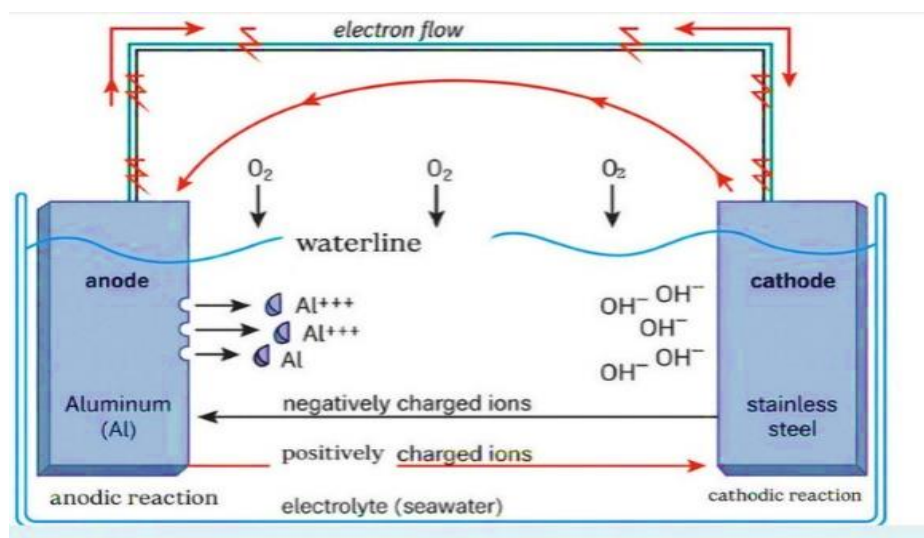
*Note – compiled by the authors*

Reinforced concrete supports located in moist soil or directly in water—such as bridge piers or platform supports in marine environments—are subject to aggressive electrochemical corrosion. For this type of support, the process occurs as galvanic corrosion (fig. 6).

The formulas representing galvanic corrosion of steel include the following reactions:



The authors of (François et al., 2018) examined the relationship between the corrosion of steel reinforcement and its effects on the mechanical behavior of reinforced concrete structures. The researchers considered specific theoretical foundations of steel corrosion in concrete and its interaction with structural elements, including service cracks and concrete placement defects. Studies of the degradation mechanisms of the mechanical properties of steel bars and reinforced concrete revealed a decrease in ductility, a reduction in load-bearing capacity, redistribution of internal forces due to the formation of plastic hinges, and an increase in beam deflection during operation. Research conducted in (Natino et al., 2021) shows that, as a result of corrosion processes in steel elements within reinforced concrete structures, the cross-section of the reinforcement decreases by 25% for a single bar and by 20% for all bars in the structure.



**Figure 6.** Diagram of the galvanic corrosion process (catalogue“Barque”,2025)

*Note – compiled by the authors*



## LITERARY REVIEW

A number of authors in their studies examine the effect of anti-corrosion coatings on the strength of reinforcement using polymer coatings based on cement, as well as the application of epoxy coatings to reinforcement directly during construction before concreting (Kamde& Pillai, 2022; Vanama&Ramakrishnan, 2024; Zheng et al., 2025). In particular, the effectiveness of using different types of coatings is studied depending on the operating conditions of the structures, such as aggressive environments, high humidity, or exposure to mechanical loads. Special attention is paid to the durability of protective layers and their ability to maintain their protective properties over a long period. Research shows that the use of polymer and epoxy coatings can significantly increase the service life of reinforced concrete structures by minimizing the risk of reinforcement corrosion and providing additional protection for concrete against external influences.

Al-Dulaijan (2023) describes the performance characteristics of two types of coatings for steel: high-zinc epoxy and cement-based epoxy. Scientists evaluated these coatings through laboratory and field experiments. In field tests, concrete samples were exposed to seawater for more than five years. Salt spray and accelerated reinforcement corrosion tests showed that cement-based epoxy coatings perform better than zinc coatings. However, no visible differences in performance between the coatings were found on reinforced concrete slabs in field conditions. Based on their data, the scientists recommend using cement-based epoxy coatings as primers for steel.

Work (Tweek&Abdulsada, 2023) aims to demonstrate and review the positive impact of green inhibitors and organic inhibitors on chloride-induced corrosion.

Scientists studied the latest developments in the use of corrosion inhibitors in reinforced concrete (Yuvaraj et al., 2022) and conducted research in laboratory and field conditions. They once again proved that inhibitors are chemicals that are added to concrete in low concentrations to stop or delay corrosion in reinforced concrete structures. In their review study, the scientists examined various forms of inhibitors for concrete treatment and methods of their application. They compared the effectiveness of mixed and migrating inhibitors based on existing research.

The study (Wei et al., 2021) considers the possibility of using carbon fiber waste to reduce steel corrosion in reinforced concrete structures. To the authors' knowledge, this research is the first attempt to investigate the corrosion resistance of carbon fiber waste in reinforced concrete under harsh conditions with constant loading. First, carbon fiber waste was treated with epoxy resin to ensure uniform dispersion of soft carbon fiber in the cement mixture, as the hydrophobic surface of carbon fiber and the galvanic connection between carbon fiber and steel bars in concrete had to be prevented. Second, to accelerate the corrosion process, reinforced concrete samples were subjected to an aggressive environment with high temperature (50 °C) and a 6-hour "wet-dry" cycle in a 3.5 wt% NaCl solution, along with continuous loading. Third, the corrosion properties of the RC specimens were monitored for 360 days using electrochemical methods such as linear polarization resistance and electrochemical impedance spectroscopy.

The work (Byrne et al., 2016) investigated electrochemical corrosion protection and presented protection methods. The authors proposed cathodic protection using an impressed current for protecting metal structures in concrete, and as a second method, the use of a more active sacrificial anode to generate excitation current.

Anodic coating, in this case with zinc, protects the base metal by means of a more active metal and demonstrates the following electrochemical corrosion process, Table 1:

**Table 1.** Electrochemicalcorrosion

Electrochemical corrosion of zinc-coated iron		
$\varphi_{\text{Fe} \text{Fe}^{2+}}^0 = -0,44\text{В}$	>	$\varphi_{\text{Zn} \text{Zn}^{2+}}^0 = -0,76\text{В}$
Oxidizingagent		Reducingagent
<i>Note – compiled by the authors</i>		

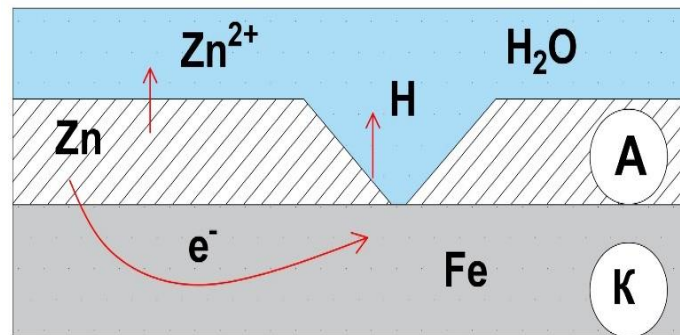
here: anodic process(-)  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$

cathodic process (+)  $\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  (5)

In case of coating damage, a galvanic cell is formed, and zinc acts as the anode, as a result of which it corrodes, while the steel reinforcement itself remains intact (fig. 7):

(-)A[Zn]:  $\text{Zn}^0 - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}^{2+}$ ;  $\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2$  (6)

(+)K[Fe]:  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  (pH < 7) or  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$  (pH = 7) (7)



**Figure 7.** Diagram of electrochemical corrosion (catalogue “Stephen Lower”,2022)

*Note – compiled by the authors*

## MATERIALS AND METHODS

To prevent corrosion in reinforced concrete structures, the following methods are used:

- use of corrosion-resistant reinforcement (for example, coated steel);
- addition of admixtures to concrete that improve its impermeability and resistance to aggressive environments;
- regular monitoring of the condition of structures and performing repair works at the first signs of corrosion.

As noted in (Sohail et al., 2021), the traditional methods of protecting steel structures include “passive” and “active” protection methods. In passive protection, metal products, parts, and structures are placed above ground and protected with special primer layers and enamel coatings, with possible use of bituminous mastic. In active protection, the difference in electrical potential between the anode and cathode is used, where the “anode” part is intentionally corroded to ensure the safety of the “cathode.”

Modern protection technologies increasingly rely on advanced approaches. Researchers (Mihashi et al., 2011) presented the results of corrosion tests on fiber-reinforced cement composites containing only polyethylene (PE) plus hybrid steel cords (SC), and PE fibers. In this study, the metal was subjected to accelerated corrosion by applying an external potential between a steel rod anode and a cathode made of steel wire mesh placed outside the concrete. The results showed that hybrid fiber-reinforced cement composites (HFRCC) containing hybrid SC and PE fibers demonstrated superior performance compared to mortar and fiber-reinforced cement composites (FRCC) containing only PE fibers.



Scientists (Gharieb et al., 2024; Jiang et al., 2014; Khatri et al., 2025; Mihashi et al., 2011; Ming et al., 2023; Wang et al., 2019) proposed adding polymer composite materials to concrete to densify and strengthen it, thereby preventing aggressive environments from reaching the metallic parts of reinforced concrete structures. Other researchers (Cheng et al., 2022; Kamde et al., 2021) suggested protecting the metallic components directly by applying a protective layer in the form of an anode – that is, a metal that corrodes more readily to protect the main reinforcement – and using inhibitors (Asaad, 2021; Palanisamy et al., 2016; Valdez-Salas et al., 2021; Venkatesh et al., 2019).

Understanding corrosion processes and modeling the rate of corrosion are key aspects for ensuring the durability and reliability of structures (Cheng & Maruyama, 2023; Ji & Ye, 2023; Lollini&Redaelli, 2021). Modeling involves the use of various mathematical and numerical methods. Simulating corrosion propagation rates in concrete reinforcement helps assess the condition of a structure and predict when and where corrosion may occur, aiding in maintenance and repair planning. Information about corrosion rates can also be used to select more durable materials and technologies, increasing the lifespan of structures. Modeling assists in developing effective corrosion protection methods such as the use of corrosion-resistant alloys or special coatings. Modern technologies like machine learning and artificial intelligence open new horizons for corrosion prediction (Chou et al., 2017). These methods make it possible to process large datasets obtained from experiments and field studies, reveal hidden patterns, and improve prediction accuracy. Reliable estimates of the degree of corrosion and the time to reach safety limits (Yadeta, Siriwardane& Mohammed, 2023) are critical for analysing the reliability of reinforced concrete structures. Engineers and decision-makers can use this data to plan inspections and maintenance.

To form a comprehensive corrosion index, the authors suggest including key parameters that reflect the level and dynamics of damage to reinforced concrete structures under the influence of corrosion, which is important for predicting the remaining service life and planning repair measures:

- Degree of reinforcement corrosion – residual metal thickness (% loss relative to the original thickness) and presence of corrosion damage (rust thickness, mass loss);
- Reinforcement corrosion potential – measurement of the electrochemical potential of reinforcement relative to a standard electrode, identifying active corrosion zones and their intensity;
- Condition of protective concrete – thickness and integrity of the concrete cover, presence of cracks and spalling, and indicators of water impermeability and permeability;
- Chemical parameters of concrete – pH value, degree of carbonation, and chloride content, which increase environmental aggressiveness and accelerate reinforcement corrosion;
- Visual signs of damage – characteristic crack patterns, concrete spalling, and presence of corrosion stains on the surface;
- Temperature and humidity conditions during operation – influence of climate and microclimate, which can accelerate or slow down corrosion processes.

These parameters can be used in the development of regulatory and technical documentation for determining maintenance intervals for reinforced concrete structures affected by corrosion.

## RESULTS AND DISCUSSION

In accordance with the stated objective, the following results were obtained:

1. A systematic analysis of current knowledge has established that the dominant factor limiting the durability of reinforced concrete is electrochemical corrosion of reinforcement induced by chlorides and carbonation of concrete. A critical gap has been identified between the in-depth study of individual mechanisms and their fragmentary consideration in practical diagnostic and predictive methods.

2. Based on the results of the classification of diagnostic and protection methods, a taxonomy has been developed that divides methods into reactive (inspection and repair after damage detection) and predictive-proactive (monitoring + modeling). It has been proven that the greatest potential for improving reliability and economic efficiency lies in the combination of non-destructive electrochemical control (linear polarization, impedance spectroscopy) with active long-term protection methods (cathodic, inhibitors).

3. As part of the development of a comprehensive approach to assessment, a structure for a comprehensive corrosion index (CCI) has been proposed as an integral quantitative indicator of the condition of a structure. The principle of hierarchical aggregation of data from direct measurements to generalized indicators and an integral index has been defined, requiring the assignment of weighting coefficients depending on the type of structure. The CCI aggregates several key parameters:

- degree of corrosion wear of reinforcement (loss of cross-section, mass);
- electrochemical potential and corrosion rate;
- thickness and integrity of the protective concrete layer;
- depth of carbonation and chloride concentration near the reinforcement;
- nature and width of cracks;
- aggressiveness of the environment (temperature and humidity conditions).

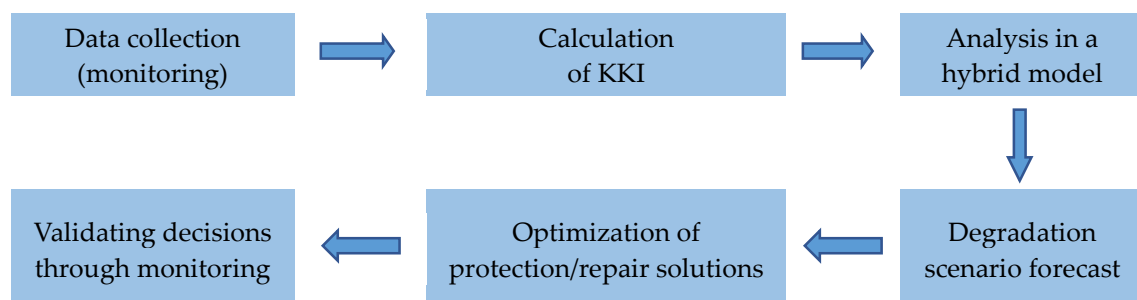
4. In terms of forecasting, a concept for a hybrid forecasting model has been formulated, which will enable a transition from conservative estimates to dynamic forecasting of residual resources and will combine:

- a deterministic component (physico-chemical laws of agent diffusion, kinetics of electrochemical reactions);
- a stochastic/adaptive component based on machine learning methods, which adjusts the forecast as new monitoring data becomes available (CCM);

5. As a practical conclusion, a generalized scheme of a predictive corrosion safety management system has been developed, representing a closed cycle (Fig. 8):

It is necessary to include the stages of predictive modeling and calculation of CCI in the regulatory and technical framework to justify the intervals between repairs and select an operation strategy.

It follows that overcoming the current problems in reinforced concrete protection lies not in the creation of a new insulating material or method, but in the systematic integration of existing diagnostic, modeling, and protection technologies based on quantitative integral criteria (QIC) and adaptive predictive models.



**Figure 8.** Diagram of a predictive corrosion safety management system (author's work)

*Note – compiled by the authors*

## CONCLUSIONS

Reinforcement corrosion in reinforced concrete structures is one of the main causes of their deterioration. It reduces the strength and durability of structures, which can have serious



implications for the safety of buildings and facilities. The primary factors contributing to corrosion are aggressive chemical environments, high humidity, temperature fluctuations, and insufficient reinforcement protection.

Various methods exist for diagnosing the condition of reinforced concrete structures, including visual inspection, ultrasonic testing, and electrochemical techniques, which allow timely detection of corrosion processes.

Effective corrosion protection methods include the use of corrosion-resistant materials, application of protective coatings, cathodic protection, and various concrete additives that modify its physical properties, directly influencing the condition of reinforcement in concrete, along with regular maintenance.

To prevent corrosion in concrete reinforcement, regular inspections and monitoring of reinforced concrete structures are necessary for early detection of corrosion processes. In the design and construction of new structures, corrosion-resistant reinforcement materials and additives that enhance concrete resistance to aggressive environments should be used, and protective coatings should be applied to reinforced concrete surfaces to minimize the effects of external factors promoting corrosion. Mathematical modeling of corrosion propagation rates should be applied in the specific context of the construction process.

Depending on the protection mechanism, corrosion protection methods are divided into passive and active. Passive methods include high-performance fiber-reinforced cement mortar coatings, anti-corrosion coatings, and corrosion inhibitors. Active protection involves cathodic protection and electrochemical chloride extraction.

Among these methods, fiber-reinforced cement mortar stands out for its effectiveness in preventing corrosion due to its high strength, although it is mainly used for structural strengthening because of its superior mechanical properties. Carbon fiber-reinforced polymer can serve dual functions: as a strengthening material and as an anode in cathodic protection and electrochemical chloride extraction. This unique material capability makes it highly promising for protecting corrosion-damaged reinforced concrete structures.

Corrosion in reinforced concrete structures is a multi-stage process that requires attention and preventive measures to ensure the durability and safety of buildings and facilities.

A systematic analysis has shown that, despite in-depth research into individual corrosion mechanisms and the availability of a wide range of protective technologies, the key obstacle to improving the durability of structures remains the gap between diagnosis, prediction, and decision-making. Existing approaches are often reactive in nature, and the methods used are studied in isolation, without taking into account their synergy or long-term behavior in real operating conditions.

The central result of the work is the proposed concept of a Comprehensive Corrosion Index (CCI), designed to become a universal quantitative tool for the integrated assessment of structural condition. The CCI aggregates key physicochemical, electrochemical, and mechanical parameters, enabling the transition from qualitative descriptions to controllable quantitative criteria. To implement the predictive function, the need to develop hybrid mathematical models combining deterministic corrosion laws with adaptive machine learning algorithms that correct the forecast based on continuous monitoring data is justified.

Based on these elements, a generalized scheme of a predictive decision support system has been developed, forming a closed cycle of “monitoring – assessment (KKI) – forecast – protective intervention – validation.” The implementation of this approach will optimize the timing and scope of repair work, minimize life cycle costs, and shift from a strategy of planned preventive maintenance to management based on actual condition and predicted risk.

Prospects for further research are related to empirical validation and calibration of the proposed methodology on real-world objects, development of standardized data collection

protocols for model training, and in-depth study of the long-term effectiveness and compatibility of combined protection methods. The implementation of these areas will contribute to the formation of a new paradigm in the operation of construction facilities, based on data, forecasts, and intelligent resource management, which is a necessary condition for ensuring the long-term safety and sustainability of critical infrastructure.

**CONFLICT OF INTEREST:** The authors declare that there is no conflict of interest.

**FUNDING:** This article was prepared using the authors' own funds without external financial sponsorship.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The authors express their sincere gratitude to L.N. Gumilyov Eurasian National University for providing the opportunity to work in the laboratory (NPTS "ENU-Lab") and access to the university's extensive library collection, which greatly contributed to the research.

**INSTITUTIONAL REVIEW BOARD STATEMENT:** Not applicable.

**INFORMED CONSENT STATEMENT:** Not applicable.

**DATA AVAILABILITY STATEMENT:** The data supporting the findings of this technical study are available from the corresponding author upon reasonable request.

**NOTICE ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES:** In preparing the manuscript, the authors used artificial intelligence tools exclusively for editorial support: correcting wording, checking for grammatical, spelling and punctuation errors. All ideas, interpretations, and conclusions belong to the authors, who are fully responsible for the content of the article.

## REFERENCES

- Al-Dulajjan, S. U. (2023). A Laboratory and Field Assessment of the Performance of Rebar Coatings. *Materials (Basel, Switzerland)*, 16(12), 4270. <https://doi.org/10.3390/ma16124270>
- Asaad, M. A. (2021). Commercial and Green Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete Structures: A Review. *International Journal of Current Science Research and Review*, 04(02). <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/v4-i2-04>
- Byrne, A., Norton, B., & Holmes, N. (2016). State-of-the-art review of cathodic protection for reinforced concrete structures. *Magazine of Concrete Research*, 68(13), 664–677. <https://doi.org/10.1680/jmacr.15.00083>
- Cheng, L., & Maruyama, I. (2023). A Prediction Method for the Corrosion Rate of Steel Rebar in Carbonated Mortar under Variable Environmental Conditions. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 21(8), 611–630. <https://doi.org/10.3151/jact.21.611>
- Cheng, X., Xia, J., Wu, R. J., Jin, W. L., & Pan, C. G. (2022). Optimisation of sacrificial anode cathodic protection system in chloride-contaminated reinforced concrete structure. *Journal of Building Engineering*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103515>
- Chou, J. S., Ngo, N. T., & Chong, W. K. (2017). The use of artificial intelligence combiners for modeling steel pitting risk and corrosion rate. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 65, 471–483. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2016.09.008>
- François, R., Laurens, S., & Deby, F. (2018). Corrosion and its Consequences for Reinforced Concrete Structures. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-234-2.50009-3>
- Gharieb, M., Aboutaleb, S.A., Dokaila, A.M., & El-Attar, M. (2024). Impact of combined organic chemical inhibitor on mechanical properties of cement pastes and steel reinforcement corrosion in concrete upon exposure to aggressive environment. *Construction and Building Materials*, 420, 135567. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135567>
- Hameed, A., Afzal, M. F. U. D., Javed, A., Rasool, A. M., Qureshi, M. U., Mehrabi, A. B., & Ashraf, I. (2023). Behavior and Performance of Reinforced Concrete Columns Subjected to Accelerated Corrosion. *Metals*, 13(5), 930. <https://doi.org/10.3390/met13050930>



- Hu, J. Y., Zhang, S. S., Chen, E., & Li, W. G. (2022). A review on corrosion detection and protection of existing reinforced concrete (RC) structures. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126718>
- Ji, H., & Ye, H. (2023). Machine learning prediction of corrosion rate of steel in carbonated cementitious mortars. *Cement and Concrete Composites*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105256>
- Jiang, C., Fan, K., Wu, F., & Chen, D. (2014). Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete. *Materials and Design*, 58, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.01.056>
- Kamde, D. K., Manickam, K., Pillai, R. G., & Sergi, G. (2021). Long-term performance of galvanic anodes for the protection of steel reinforced concrete structures. *Journal of Building Engineering*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103049>
- Kamde, D. K., & Pillai, R. G. (2022). Corrosion initiation and its effect on bond characteristics and service life of reinforced concrete systems with Cement-Polymer-Composite coated steel rebars. *Structures*, 44, 248-260. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.08.003>
- Khatri, W.A., Al Mehthel, M., Salazar, O., Baig, M., & Al Wohaibi, S. (2025). Use of Polymeric Materials in Construction to Improve Durability & Sustainability. *World Journal of Engineering and Technology*, 13(1). <https://doi.org/10.4236/wjet.2025.131002>
- Lollini, F., & Redaelli, E. (2021). Corrosion rate of carbon steel in carbonated concrete made with different supplementary cementitious materials. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 56(5), 473–482. <https://doi.org/10.1080/1478422X.2021.1916236>
- Mihashi, H., Ahmed, S. F. U., & Kobayakawa, A. (2011). Corrosion of reinforcing steel in fiber reinforced cementitious composites. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 9(2), 159–167. <https://doi.org/10.3151/jact.9.159>
- Ming, X., Liu, Q., Wang, M., Cai, Y., Chen, B., & Li, Z. (2023). Improved chloride binding capacity and corrosion protection of cement-based materials by incorporating alumina nano particles. *Cement and Concrete Composites*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104898>
- Natino, M. R. L., Yang, Y., Nakamura, H., & Miura, T. (2021). Experimental study on the effect of anti-corrosive coatings on bond behavior of corroded rebar. *Construction and Building Materials*, 274, 121716. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121716>
- Otieno, M., Beushausen, H., & Alexander, M. (2016). Chloride-induced corrosion of steel in cracked concrete—Part II: Corrosion rate prediction models. *Cement and Concrete Research*, 79, 386-394. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.08.008>
- Palanisamy, S. P., Maheswaran, G., Kamal, C., & Venkatesh, G. (2016). *Prosopis juliflora* – A green corrosion inhibitor for reinforced steel in concrete. *Research on Chemical Intermediates*, 42(12), 7823–7840. <https://doi.org/10.1007/s11164-016-2564-1>
- Qiu, J.R., Feng, D.C., & Wu, G. (2025). A multi-physics dual-phase field model for chloride-induced localized corrosion process and cracking in reinforced concrete. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 434, 117578. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2024.117578>
- Sohail, M.G., Laurens, S., Deby, F., Balyssac, J.P., & Al Nuaimi, N. (2021). Electrochemical corrosion parameters for active and passive reinforcing steel in carbonated and sound concrete. *Materials and Corrosion*, 72(12), 1854–1871. <https://doi.org/10.1002/maco.202112569>
- Tweek, M. K., & Abdulsada, S. A. (2023). Study title or description. *KOM – Corrosion and Material Protection Journal*, 67, 50-58. <https://doi.org/10.2478/kom-2023-0007>
- Valdez-Salas, B., Vazquez-Delgado, R., Salvador-Carlos, J., Beltran-Partida, E., Salinas-Martinez, R., Cheng, N., & Curiel-Alvarez, M. (2021). *Azadirachta indica* leaf extract as green corrosion inhibitor for reinforced concrete structures. *Materials*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/ma14123326>

- Vanama, R. K., & Ramakrishnan, B. (2024). Experimental investigation on the bond-slip behavior of rebars coated with epoxy and polyurethane systems: A comparative study. *Journal of Building Engineering*, 94, 110066. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110066>
- Venkatesh, C., Mohiddin, S. K., & Ruben, N. (2019). Corrosion inhibitors behaviour on reinforced concrete – A Review. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 25, pp. 127–134). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3317-0_11)
- Wang, D., Ju, Y., Shen, H., & Xu, L. (2019). Mechanical properties of high performance concrete reinforced with basalt fiber and polypropylene fiber. *Construction and Building Materials*, 197, 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.181>
- Waqas, H. A., Bahrami, A., Sahil, M., Poshad Khan, A., Ejaz, A., Shafique, T., Tariq, Z., Ahmad, S., & Özkılıç, Y. O. (2023). Performance Prediction of Hybrid Bamboo-Reinforced Concrete Beams Using Gene Expression Programming for Sustainable Construction. *Materials* (Basel, Switzerland), 16(20), 6788. <https://doi.org/10.3390/ma16206788>
- Wei, A., Tan, M. Y., Koay, Y. C., Hu, X., & Al-Ameri, R. (2021). Effect of carbon fiber waste on steel corrosion of reinforced concrete structures exposed to the marine environment. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128356. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128356>
- Yadeta, K.F., Siriwardane, S.C., & Mohammed, T. A. (2023). Service life prediction of reinforced concrete structures subjected to corrosion: a comparative study. *International Journal of Structural Integrity*, 14(3), 480–497. <https://doi.org/10.1108/IJSI-12-2022-0149>
- Yuvaraj, S., Nirmalkumar, K., Rajesh Kumar, V., Gayathri, R., Mukilan, K., & Shubikksha, S. (2022). Influence of corrosion inhibitors in reinforced concrete – A state of art of review. *Materials Today: Proceedings*, 68(6), 2406-2412. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.118>
- Zheng, S., Li, Y., Feng, Q., Liang, X., Wu, X., & Xu, R. (2025). Experimental investigation on bond-slip behavior of epoxy-coated rebars in steel fiber reinforced concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04767. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04767>

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Абдрасилов Лесбек** – техника ғылымдарының докторы, аға оқытушы, Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

**Абдрасилов Лесбек** – кандидат технических наук, старший преподаватель, Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

**Abdrasilov Lesbek** – candidate of technical sciences, Senior Lecturer, Mukhtar Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan  
e-mail: lesbekansar911@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6996-222X>



**Кудайбергенов Нурлан Баязитович** – техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының, Астана қ., Қазақстан

**Кудайбергенов Нурлан Баязитович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан,

**Kudaibergenov Nurlan** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: knb\_1955@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1674-4702>



**Тлеуленова Гультшат Толеувна** – PhD, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

**Тлеуленова Гультшат Толеувна** – PhD, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

**Tleulenova Gulshat Toleuovna** – PhD, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: gulshattleulenova23@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2806-1588>



**Фазылов Камидулла Рафикович** – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

**Фазылов Камидулла Рафикович** – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

**Kamidulla Fazylov** – Candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: fazylov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0193-2446>



**Шахмов Жанболат Ануарбекович** – PhD, профессор м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, "Құрылыс" кафедрасы, Астана қ., Қазақстан

**Шахмов Жанболат Ануарбекович** – PhD, и.о. профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

**Shakhmov Zhanbolat** – PhD, acting professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: shakhmov\_zha@enu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1680-5287>

[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_2](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_2)

SRSTI 67.03.03

## STABILITY ANALYSIS OF RIVERBANK RETAINING STRUCTURES USING PLAXIS 2D

## PLAXIS 2D БАҒДАРЛАМАСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ЖАҒАЛАУ ТІРЕУ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ТАЛДАУ

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕГОВЫХ ПОДПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PLAXIS 2D

A.Z. Abu <sup>1\*</sup>, Y.T. Bessimbayev <sup>1</sup>, Z.M. Zhambakina <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Architecture and Civil Engineering, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*Corresponding author: Assilkhan Abu, e-mail: abu.asylkhan@mail.ru

### Keywords:

Plaxis 2D, retaining wall, hydrostatic pressure, geotechnical modeling, finite element analysis, urban load, anchor.

### ABSTRACT

The relevance of this study lies in the fact that rapid urbanization along the Yesil River has led to increased loading on riverbank retaining walls, posing significant challenges to their structural stability. The objective of this study is to apply advanced numerical modeling techniques using Plaxis 2D to analyze the deformation behavior of retaining walls under complex loading conditions and to evaluate their performance both with and without anchoring systems. The novelty of this study lies in its consideration of real-world loading scenarios, including hydrostatic pressure and urban-induced surcharges, alongside a comparative analysis of retaining wall configurations with and without anchoring systems. The simulation results demonstrated that the horizontal displacement of the retaining wall was only 2 cm, indicating a high level of structural stability even in the absence of an anchoring system. Under the given conditions, the implementation of a non-anchored design proved to be both technically sound and economically efficient. These findings underscore the importance of a comprehensive approach to the design of coastal protection structures, taking into account both natural factors and anthropogenic impacts.

### Түйінді сөздер:

Plaxis 2D, тіреу қабырғасы, гидростатикалық қысым, геотехникалық модельдеу, соңғы элементтер әдісі, қалалық жүктеме, анкер.

### ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл зерттеудің өзектілігі Есіл өзені бойындағы жылдам урбанизация өзен жағалауындағы тіреу қабырғаларына түсетін жүктеменің артуына алып келіп, олардың құрылымдық тұрақтылығына айтарлықтай қиындықтар туғызуымен байланысты. Зерттеудің мақсаты – Plaxis 2D бағдарламалық кешенін пайдалана отырып, күрделі жүктеме жағдайларындағы тіреу қабырғаларының деформациялық мінез-құлқын талдау және анкерлік және анкерсіз қабырға құрылымдарының тиімділігін бағалау. Зерттеудің жаңалығы – гидростатикалық қысым мен қала құрылысының әсерінен туындайтын антропогендік жүктемелерді қоса алғанда, нақты жүктеме жағдайларын ескеруімен, сондай-ақ анкерлік және анкерсіз тіреу қабырға құрылымдарын салыстырмалы талдаумен ерекшеленеді. Модельдеу нәтижелері тіреу қабырғасының көлденең орын ауыстыруы небәрі 2 см екенін көрсетті, бұл конструкцияның тіпті анкерлік жүйе қолда-





данылмаған жағдайда да жоғары тұрақтылыққа ие екенін білдіреді. Қарастырылып отырған жағдайларда анкерсіз құрылым нұсқасы тиімділігімен және үнемділігімен ерекшеленді. Бұл деректер табиғи және антропогендік факторларды ескере отырып, жағалауды қорғау құрылыстарын жобалауда кешенді тәсілдің маңыздылығын көрсетеді.

#### Ключевые слова:

Plaxis 2D, подпорная стена, гидростатическое давление, геотехническое моделирование, метод конечных элементов, городская нагрузка, анкер

#### АННОТАЦИЯ

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что быстрая урбанизация вдоль реки Есиль привела к увеличению нагрузок на подпорные стены береговой линии, создавая серьезные проблемы для их структурной устойчивости. Цель данного исследования — применение передовых методов численного моделирования с использованием Plaxis 2D для анализа деформационного поведения подпорных стен в условиях сложного нагружения и оценка их эффективности конструкций как с анкерными системами, так и без них. Новизна исследования заключается в учете реальных сценариев нагружения, включая гидростатическое давление и антропогенные нагрузки, вызванные городской застройкой, а также в сравнительном анализе конструкций подпорных стен с анкерными системами и без них. Результаты моделирования показали, что горизонтальное перемещение подпорной стены составляет всего 2 см, что свидетельствует о высокой устойчивости конструкции даже без применения анкерной системы. В рассматриваемых условиях решение с неанкерной конструкцией продемонстрировало рациональность и экономическую эффективность. Эти данные подчёркивают важность комплексного подхода к проектированию берегозащитных сооружений с учётом как природных факторов, так и антропогенных нагрузок.

## INTRODUCTION

The stability of riverbank retaining walls has represented a critical challenge in geotechnical and hydraulic engineering, especially in the context of rapid urbanization. In recent decades, cities such as Astana, Kazakhstan, have undergone significant expansion along riverbanks, including the Yessil River. Urban development has included the construction of parks, pedestrian areas, cycling paths, and public facilities in close proximity to the water. As a result, surface usage has intensified, increasing the loads acting on retaining structures.

This increase in loading conditions has created complex stress environments that must be properly understood to ensure the long-term performance and safety of riverbank protection systems. The influence of surcharge loading on the mechanical behavior and strength improvement of soft soils has been demonstrated in previous studies (Horpibulsuk et al., 2018), where it was shown that external loads significantly affect soil stiffness, settlement behavior, and overall structural stability.

In past studies, researchers have calculated the effects of earth pressure and hydrostatic loads on retaining walls under various boundary conditions. Additionally, several projects have monitored wall deformations and failure mechanisms under urban loading scenarios. Advanced finite element software, such as Plaxis 2D, has been widely used to simulate soil-structure interaction, seepage, consolidation, and staged construction effects (Pereira, A.B & Porto, T.B., 2020).

Numerous authors have analyzed soil behavior using models like Mohr-Coulomb and Hardening Soil to better understand the influence of hydraulic and structural parameters. These contributions have improved the predictive capacity of numerical simulations in geotechnical design (Imran, H et al., 2023).

However, while the individual effects of natural forces and anthropogenic loading have been studied separately, there is still a lack of comprehensive analyses that integrate both within real-world urban environments like the Yessil River in Astana.

Although many models have been developed for idealized conditions, fewer studies have considered site-specific data and infrastructure-related surcharges. There remains a critical need to evaluate how combined loading conditions affect wall displacements, stress distribution, and overall stability in urban riverbank systems.

This gap limits the ability of engineers to make fully informed design decisions for safe and resilient waterfront infrastructure.

Previous studies have examined earth pressure and hydrostatic loading under simplified conditions, using finite element methods to analyze soil–structure interaction and compare constitutive models (Pereira, A. B & Porto, T. B., 2020; Imran, H et al., 2023). However, these studies generally relied on idealized geometries and generalized soil parameters. In contrast, the present research integrates site-specific geotechnical data, real river geometry, and urban surcharge loading within a unified numerical framework.

The present study investigates the structural performance and deformation behavior of a riverbank retaining wall along the Yessil River using Plaxis 2D. The numerical model incorporates site-specific data, including borehole-derived soil profiles, groundwater conditions, and external loading from adjacent infrastructure.

Earth pressure, hydrostatic river forces, and urban surcharges are modeled under staged construction to simulate real behavior. Special attention is given to displacement patterns, internal stress distributions, and overall wall stability under varying load scenarios.

This research aims to offer practical recommendations for engineers and planners engaged in riverbank design, highlighting the importance of accounting for both natural and anthropogenic influences in numerical modeling. By addressing current limitations, the study contributes to the development of more reliable and cost-effective retaining wall solutions in urban environments.

## MATERIALS AND METHODS

The program enables modeling and analysis by building a profile and performing calculations accordingly. A cross-section of the terrain in the area under investigation is created within the software. This cross-section includes representations of the soil layers, retaining wall, piles, and other essential elements. The section is constructed directly in the program, allowing for a clear visual display of soil stratigraphy, retaining walls, piles, and groundwater levels.

Once the required elements are placed in the cross-section, their corresponding geotechnical parameters must be input. The process begins with the characterization of soil layers. Soil samples are collected from the construction site and classified based on their mechanical and physical properties.

The next input parameter in the model is the pile. The use of a piled retaining wall is dictated by structural requirements. The selected pile type is designated as C60-30-8, classified as a suspended pile based on its working behavior. The characteristics of the pile are provided in Table 1.

**Table 1.** Parameters of Pile Type C60-30-8

Parameter	Value	Unit of measurement
Length	6000	mm
Width	300	mm
Height	300	mm
Concrete grade	200	-
Concrete volume	0.55	m <sup>3</sup>
Weight	1350	kg
<i>Note – compiled by the author</i>		

The retaining wall is constructed at the project site. It is designed with a height of 2 m and a thickness of 0.4 m, and modeled as a simple structural element. Its structural behavior can be approximated to that of a basement wall.

Following the input of all geotechnical and structural parameters, external loads are applied. The specific weight of water is assumed to be 10 kN/m<sup>3</sup>.

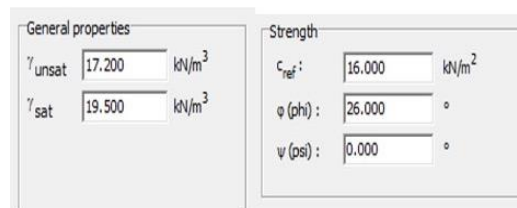
The analysis is carried out in Plaxis 2D, where the profile is defined and analyzed with a unit width of 1 meter. The software automatically processes all input parameters along this one-meter section. Within the profile view, the cross-section and computational domain are both clearly represented.

The user defines the extent of the computational domain, which can be larger than the modeled profile if required. All work is performed within this profile window. The lateral boundaries are fixed to prevent any influence from beyond the computational domain. All deformation and flow changes occur strictly within the defined limits.

The geotechnical and hydraulic parameters used in this analysis are based on data from the Yesil River, obtained from official environmental sources. The modeled half-width of the river is approximately 40 meters, and the river depth is assumed to be 8 meters, within the reported range of 8–10 meters.

The external load is applied at a horizontal distance of 5 meters from the wall. This configuration represents a typical simplified case of a riverbank retaining wall. All parameters described above have been implemented in Plaxis 2D.

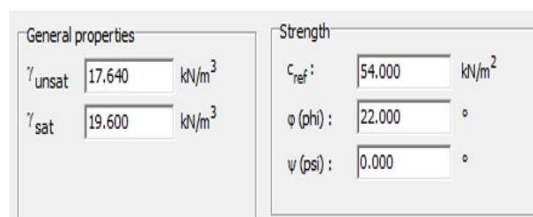
Geotechnical parameters for soil layers are entered into the software as illustrated in Figures 1, 2, and 3.



General properties		Strength	
$\gamma_{\text{unsat}}$	17.200 kN/m <sup>3</sup>	$c_{\text{ref}}$	16.000 kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_{\text{sat}}$	19.500 kN/m <sup>3</sup>	$\varphi$ (phi)	26.000 °
		$\psi$ (psi)	0.000 °

**Figure 1.** Input Parameters for Sandy Loam Soil in Plaxis 2D

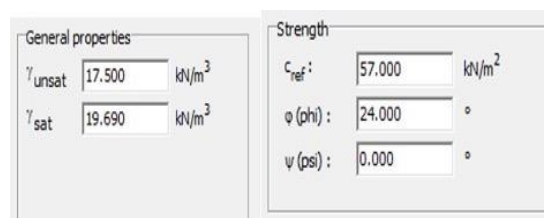
*Note – compiled by the authors*



General properties		Strength	
$\gamma_{\text{unsat}}$	17.640 kN/m <sup>3</sup>	$c_{\text{ref}}$	54.000 kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_{\text{sat}}$	19.600 kN/m <sup>3</sup>	$\varphi$ (phi)	22.000 °
		$\psi$ (psi)	0.000 °

**Figure 2.** Input Parameters for Loam Soil in Plaxis 2D

*Note – compiled by the authors*



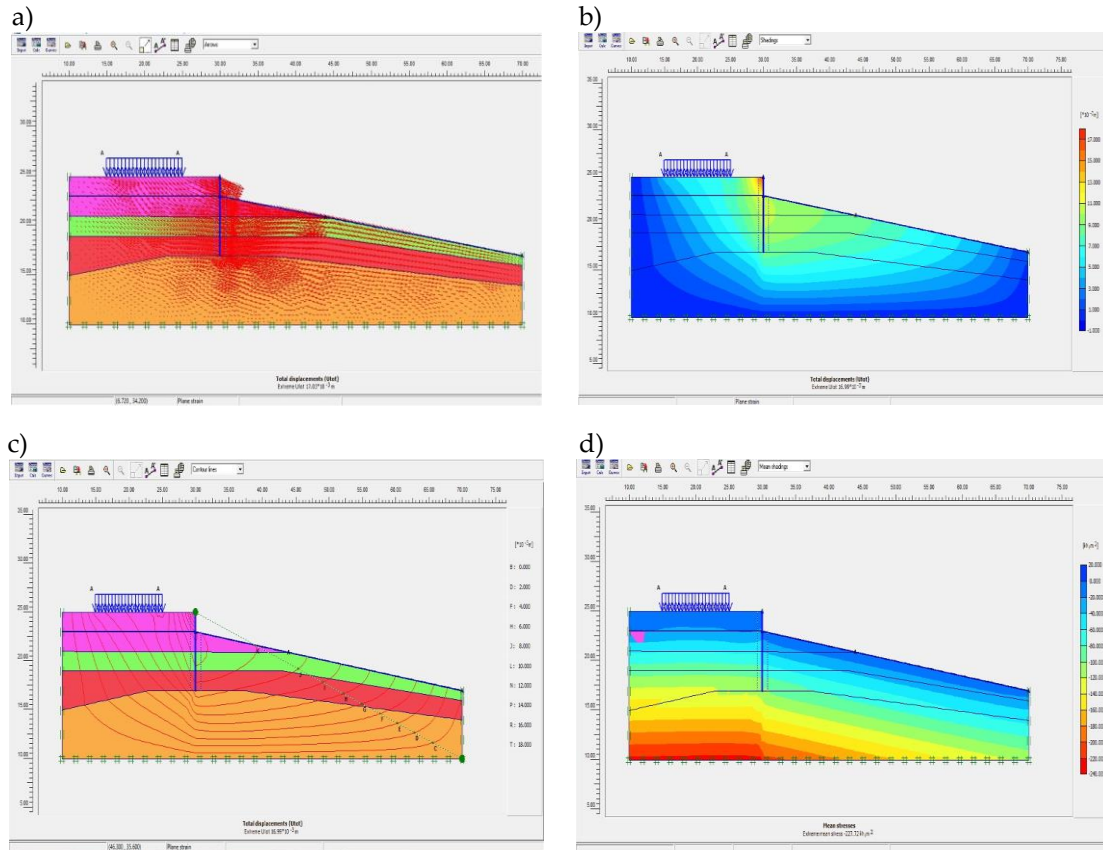
General properties		Strength	
$\gamma_{\text{unsat}}$	17.500 kN/m <sup>3</sup>	$c_{\text{ref}}$	57.000 kN/m <sup>2</sup>
$\gamma_{\text{sat}}$	19.690 kN/m <sup>3</sup>	$\varphi$ (phi)	24.000 °
		$\psi$ (psi)	0.000 °

**Figure 3.** Deep-Layer Loam Soil Properties in the Model

*Note – compiled by the authors*

The numerical analysis is conducted in two phases. In the first phase, the model simulates deformations and changes resulting from external forces acting on the retaining wall. This phase accounts for several key factors, including the protective function of the retaining structure, the load imposed by the surrounding soil mass, and additional external loads applied to the system.

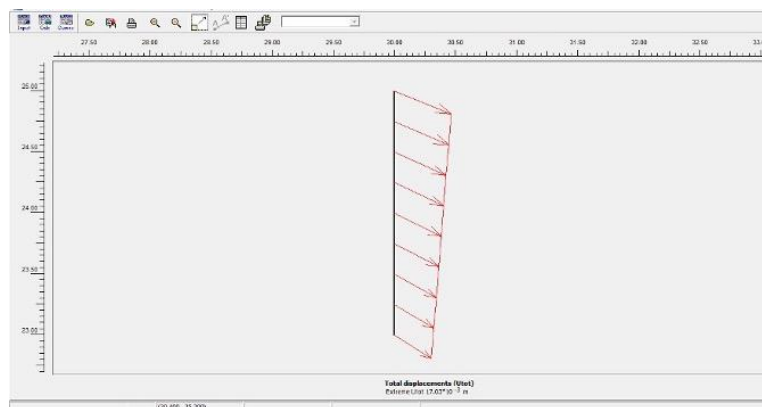
The outcomes of the analysis for this phase are visually presented in the figures below (Figures 4 and 5).



**Figure 4.** Displacement of the retaining wall in the iso zone:

- (a) displacement represented by vectors;
- (b) displacement shown through color shading;
- (c) iso-lines of displacement;
- (d) pressure distribution visualized with color gradients

*Note – compiled by the authors*



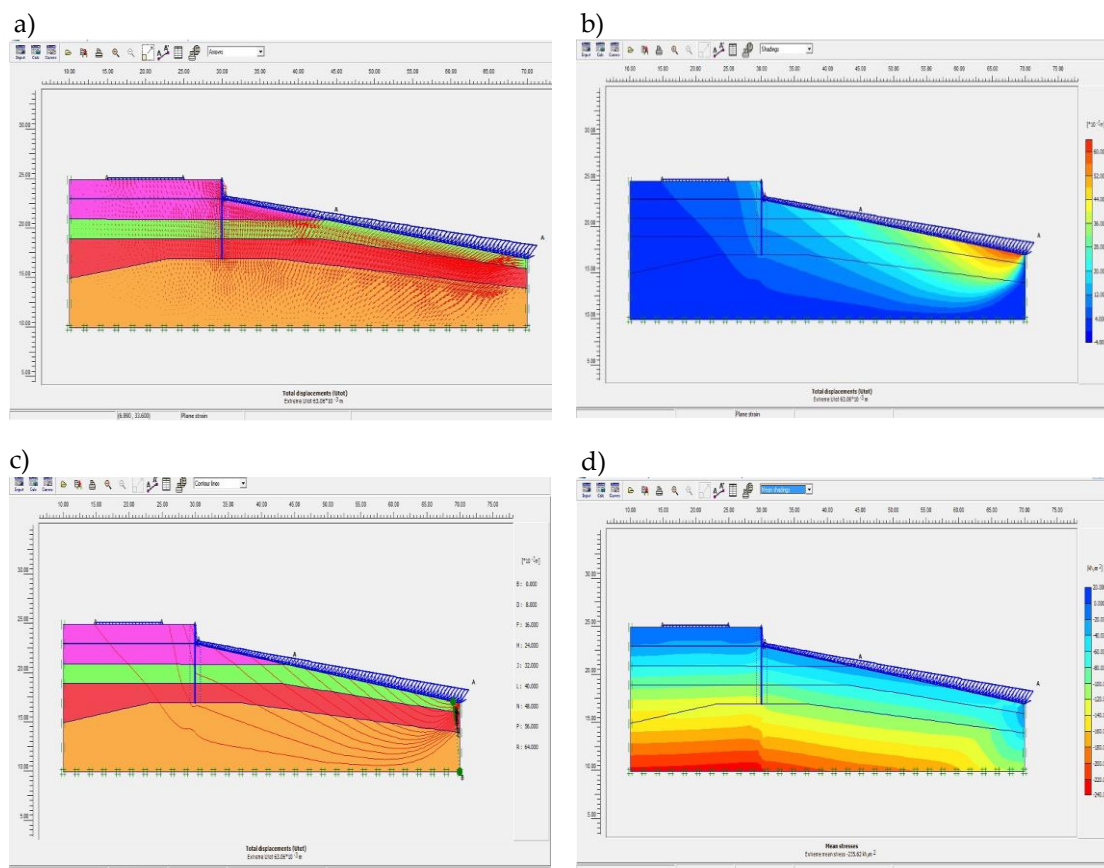
**Figure 5.** Isolated Visualization of the Retaining Wall Displacement

*Note – compiled by the authors*

The displacement vectors indicate the direction of movement of the retaining wall. The color shading highlights the zones where displacement occurs. The iso-lines represent the magnitude of settlement across different areas. According to the pressure distribution results, the maximum pressure observed is 227.72 kN/m<sup>2</sup>.

Based on the results of the first phase, a displacement of 1.703 cm was observed.

The second phase represents the final stage of the analysis. In this phase, all conditions and parameters from the first stage are preserved, with the addition of the hydrostatic water load. This enables a comprehensive evaluation of the final response of the structure. The results of this phase are presented in Figures 6 and 7.



**Figure 6.** Displacement of the retaining wall in the iso zone:

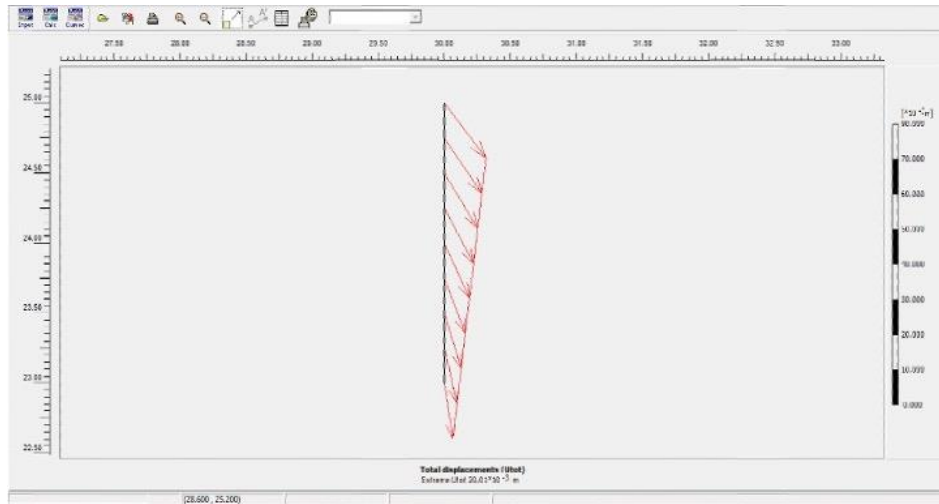
- (a) displacement represented by vectors;
- (b) displacement shown through color shading;
- (c) iso-lines of displacement;
- (d) pressure distribution visualized with color gradients

*Note – compiled by the authors*

In the second phase, the maximum pressure recorded was 235.62 kN/m<sup>2</sup>.

According to the results of the analysis, the total displacement amounts to 6.306 cm. However, this displacement occurs across the entire profile and is primarily concentrated in the lower section, where water pressure dominates. With regard to the displacement of the retaining (shoreline protection) wall itself, it is 2 cm.

The problem can also be considered from another perspective. To do this, certain modifications must be made in the computational model. One such modification involves the inclusion of an anchor, which provides additional stability. The anchor is installed at a height of 1 meter from the base of the wall, corresponding to its midpoint, and contributes to structural reinforcement.



**Figure 7.** Displacement profile of the retaining wall

*Note – compiled by the authors*

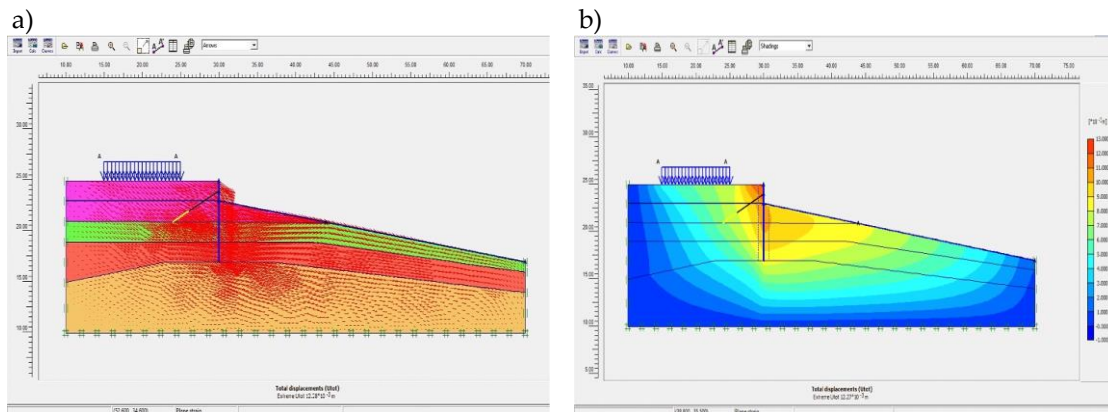
However, in this case, it is possible to evaluate whether the installation of the anchor is necessary. This can be assessed by comparing two indicators. The characteristics of the anchors are provided in Table 2.

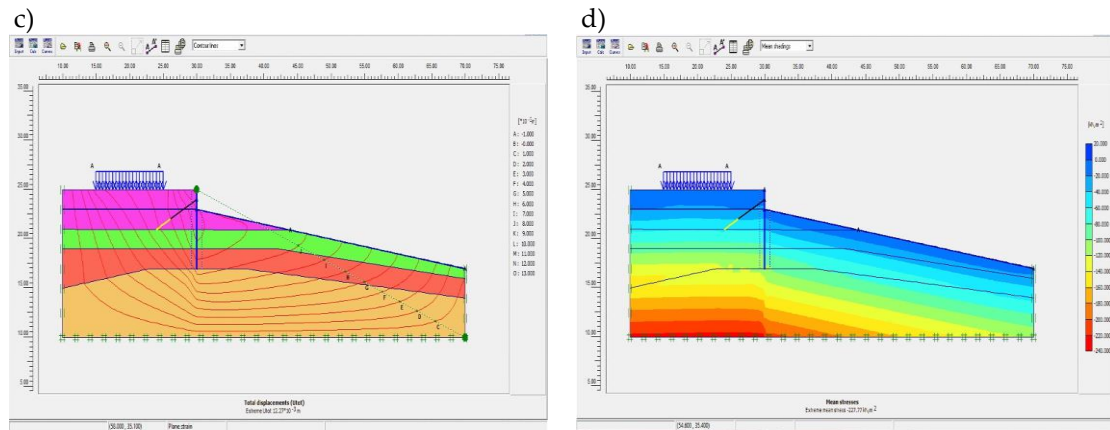
**Table 2.** Anchor reinforcement applied to the retaining wall

Parameter	Description	Value	Unit of measurement
Axial stiffness	EA	$2 \times 10^6$	kN
Anchor spacing	Ls	2.5	m
Maximum compressive force	$F_{\max, \text{comp}}$	$1 \times 10^{15}$	kN
Maximum tensile force	$F_{\max, \text{tens}}$	$1 \times 10^{15}$	kN

*Note – compiled by the author*

In this case as well, the analysis can be conducted under two different scenarios within the software. Two stages are introduced into the computational model. All conditions are modeled according to the previously described example. The only modification involves the inclusion of an anchor, and the calculation is repeated from the beginning (Figures 8 and 9).





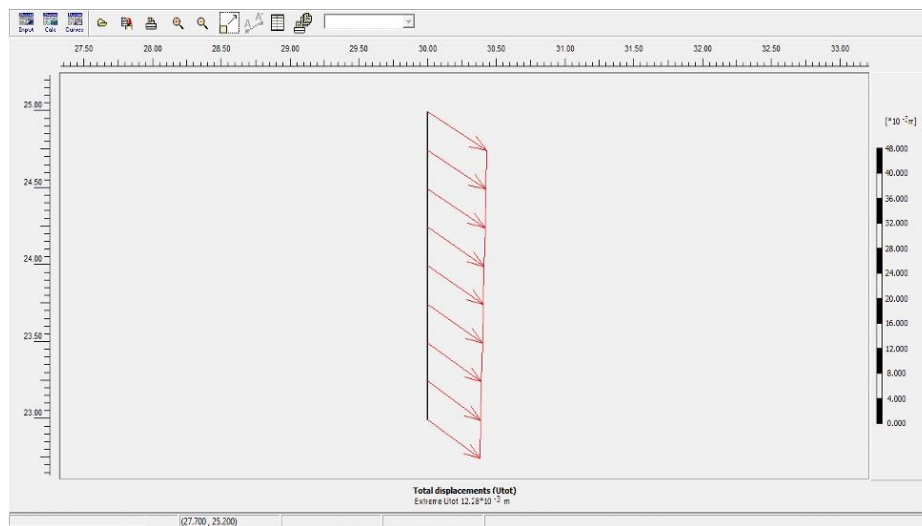
**Figure 8.** Displacement of the retaining wall in the iso zone:

(a) displacement represented by vectors; (b) displacement shown through color shading;

(c) iso-lines of displacement; (d) pressure distribution visualized with color gradients

Note – compiled by the authors

The maximum pressure force on the second type of retaining wall during the first stage is  $-227.77 \text{ kN/m}^2$ .

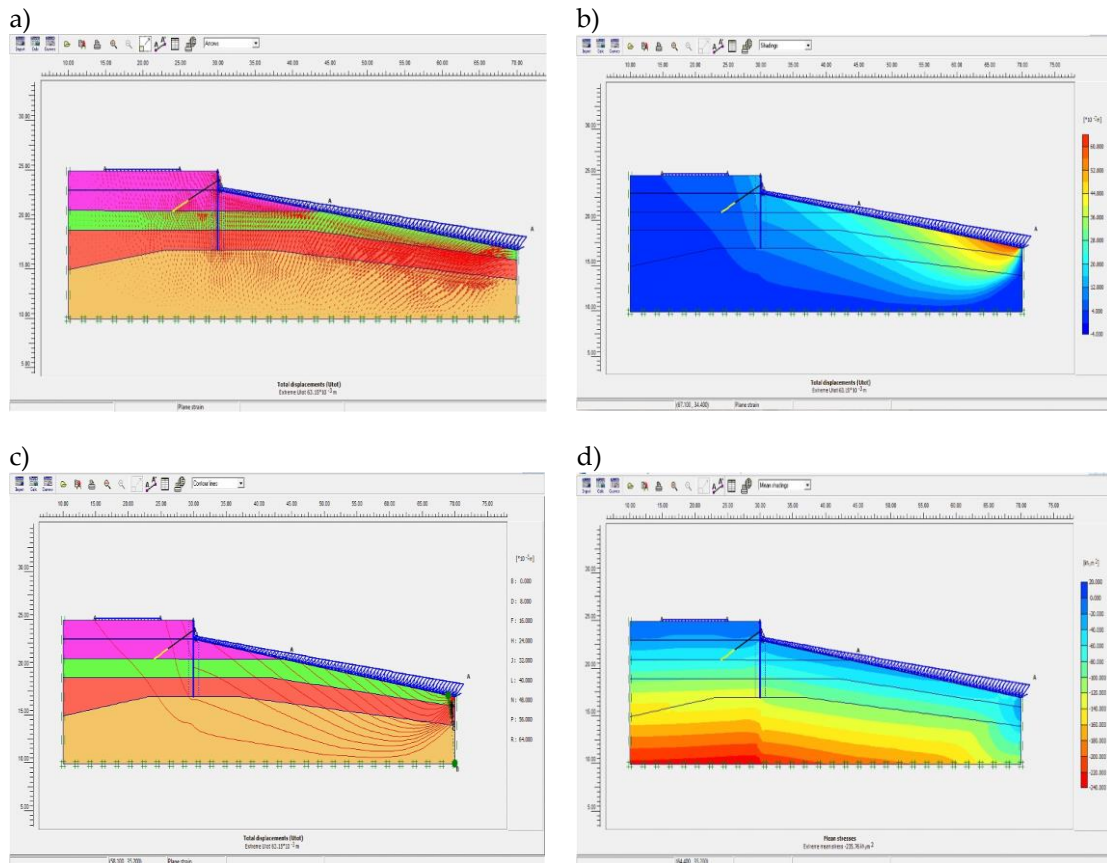


**Figure 9.** Detailed displacement profile of the retaining wall

Note – compiled by the authors

According to the analysis results, the displacement value is 1.228 cm. This value is an improvement compared to the result from the first stage of the analysis, which was 1.703 cm. Naturally, the smaller displacement from the first scenario is preferable. However, when considering the overall situation, it becomes apparent that this difference is not significant. The discrepancy between the two results is only 0.5 cm, which is not substantial when compared to practical realities.

Nevertheless, the analysis should be completed thoroughly to evaluate the final extent of the change. The second stage is considered the final stage and is conducted as described above, meaning the software simulates the entire loading conditions combined. The difference from the first stage is that the wall is anchored in this final analysis (Figures 10 and 11).

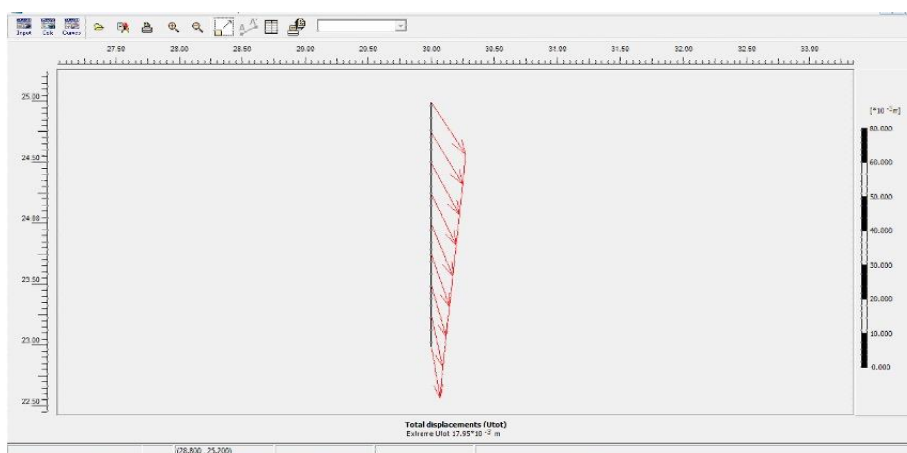


**Figure 10.** Displacement of the retaining wall in the iso zone:

- (a) displacement represented by vectors;
- (b) displacement shown through color shading;
- (c) iso-lines of displacement;
- (d) pressure distribution visualized with color gradients

*Note – compiled by the authors*

The maximum pressure force on the second type of retaining wall during the second stage is  $-235.76 \text{ kN/m}^2$ .



**Figure 11.** Detailed displacement profile of the retaining wall

*Note – compiled by the authors*

Regarding the final analysis, the displacement value obtained was 1.795 cm.

## RESULTS AND DISCUSSION

According to the Plaxis analysis for the first type of retaining wall, the displacement was 1.795 cm. This result should be compared with the displacement value obtained for the first type of shoreline protection wall, which was 2.0 cm. The difference between the two structural designs is therefore only 0.205 cm, which is not significant. Moreover, the additional work required to install the anchor is considerable. Despite this extra effort, the displacement improvement is merely 0.205 cm.

The costs associated with the additional work are much higher than the small gain in displacement. These costs include purchasing the anchors, installing them into the wall, the labor intensity, and the time required for installation. Furthermore, the machinery needed to place the anchors incurs separate expenses.

Therefore, considering all scenarios, the first structural design of the shoreline protection wall is the more cost-effective and practical solution. Of course, the effectiveness depends on the applied loads. Under the current loading conditions, the initially considered wall design proves to be very efficient.

This section should present the main findings obtained in the course of the study. The data should be clearly structured and, if necessary, supplemented with tables, graphs, or figures. Excessive descriptions should be avoided – focus on interpreting key observations, measurements, or calculations. If needed, the results can be divided into subsections or thematic blocks. Table 3 presents a comparison between the two different types of retaining walls.

**Table 3.** Calculated displacement values of two types of retaining walls

Stage	Retaining wall without anchor	Retaining wall with anchor	Difference
First stage	1.703 cm	1.228 cm	0.475 cm
Second stage	2.000 cm	1.795 cm	0.205 cm
<i>Note – compiled by the author</i>			

### - Retaining Wall without Anchor:

In the first simulation phase, considering only earth pressure and urban surface loads, the maximum horizontal displacement of the retaining wall reached 1.703 cm. In the second phase, which included hydrostatic water pressure, the total deformation across the profile was 6.306 cm, but the localized wall displacement was approximately 2.0 cm. The maximum recorded earth pressure acting on the wall was 235.62 kN/m<sup>2</sup>.

### - Retaining Wall with Anchor:

When the anchoring system was introduced at the wall's midpoint (1 m above the base), the maximum displacement in the first simulation phase was reduced to 1.228 cm. In the second phase, the total wall displacement was 1.795 cm, showing an overall reduction of 0.205 cm compared to the unanchored wall. The pressure distribution remained relatively similar, with a slightly higher peak pressure of 235.76 kN/m<sup>2</sup>.

### Comparative Analysis:

The reduction in horizontal displacement due to the anchoring system ranged from 0.475 cm (Phase 1) to 0.205 cm (Phase 2). While this reduction is technically measurable, it is not significant from a practical or structural perspective.

## CONCLUSION

This study employed finite element modeling using Plaxis 2D to evaluate the structural behavior of riverbank retaining walls along the Yesil River under combined natural and urban loading conditions. Based on the simulations, the following conclusions are drawn:

1. The introduction of an anchoring system led to only a 0.205 cm reduction in wall displacement under full loading conditions, a marginal improvement compared to the cost and effort involved.

2. The retaining wall structure without anchors, under the conditions of this project, demonstrated adequate structural strength, satisfying safety and deformation criteria under realistic urban and hydrostatic loading conditions.

3. The results underscore the importance of performing cost-benefit analyses during the design phase, especially in urban environments where budget and construction logistics are major constraints.

4. Future studies should investigate:

- Varying anchor configurations (spacing, depth, stiffness)
- Dynamic and extreme environmental conditions (floods, earthquakes)
- Long-term effects (consolidation, erosion, seasonal water level changes)
- Validation of numerical models against field data or physical tests

Overall, the findings support a cost-effective, rational design approach for urban riverbank infrastructure, where non-anchored retaining walls may offer optimal performance without unnecessary structural complexity.

**CONFLICT OF INTEREST:** The authors declare no conflict of interest.

**FUNDING:** The article was prepared without financial support from any funding agency or grant project.

**INSTITUTIONAL REVIEW BOARD STATEMENT:** Not applicable.

**INFORMED CONSENT STATEMENT:** Not applicable.

**DATA AVAILABILITY STATEMENT:** The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The authors express their gratitude to colleagues for methodological support and helpful discussions, as well as to anonymous reviewers for valuable comments that helped improve the quality of the article.

**STATEMENT ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES:** During the preparation of this manuscript, the authors used ChatGPT by OpenAI only for language editing, improvement of clarity, academic style, and formatting assistance.

## REFERENCES

- Horpibulsuk, S., Udomchai, A., Hoy, M., Chinkulkijniwat, A., & Van, D. B. (2018). Failure of riverbank protection structure and remedial approach. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 49(2), 157–163. <https://doi.org/10.14456/seagj.2018.47>
- Pereira, A. B., & Porto, T. B. (2020). Soil–structure interaction applied to anchored retaining wall: Geotechnical and structural analysis. *International Journal of Geoscience, Engineering and Technology*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.70597/ijget.v2i1.379>
- Imran, H., Al-Jeznawi, D., Al-Janabi, M. A. Q., & Bernardo, L. F. A. (2023). Assessment of soil–structure interaction approaches in mechanically stabilized earth retaining walls: A review. *CivilEng*, 4(3), 982–999. <https://doi.org/10.3390/civileng4030053>
- Li, X., Cai, X., Li, S., Huang, X., Zhu, C., & Xu, H. (2025). Analysis of the structural behavior evolution of reinforced soil retaining walls under the combined effects of rainfall and earthquake. *Buildings*, 15(1), 115. <https://doi.org/10.3390/buildings15010115>
- Triarso, A., & Risdianto, Y. (2021). Corrugated sheet pile analysis on riverbank retaining wall project in factory area of the Sukoraharjo Street. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1125(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1125/1/012018>



- Srivastava, A. (2025). Stability improvement of gravity retaining wall after placing buried utility rigid pipe in the backfill. *ASEAN Engineering Journal*, 15(2). <https://doi.org/10.11113/aej.v15.22469>
- Kazama, S. (2004). Behavior of an earth retaining structure for excavation by the Sakauchi method: Part 5. Stress interaction between reinforcing bars in RC earth retaining wall and those in composite wall. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 69(579), 55–62. [https://doi.org/10.3130/aijs.69.55\\_3](https://doi.org/10.3130/aijs.69.55_3)
- Ong, C. E. (2021). Influence of metallic strip reinforcement length and retained soil properties on the reinforced earth walls stability. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 33(3), 23–40. <https://doi.org/10.11113/mjce.v33.17280>
- Tsompanakis, Y. (2009). Issues related to the dynamic interaction of retaining walls and retained soil layer. In T. Schanz & R. Iankov (Eds.), *Coupled site and soil-structure interaction effects with application to seismic risk mitigation* (pp. 115–126). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2697-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2697-2_9)
- Dudchenko, A. V., Dias, D., & Kuznetsov, S. V. (2021). Vertical wave barriers for vibration reduction. *Archive of Applied Mechanics*, 91, 257–276. <https://doi.org/10.1007/s00419-020-01768-2>
- Miranda, L., Caldeira, L., Serra, J. B., & Gomes, R. C. (2023). Geotechnical characterization of a novel material obtained by injecting a closed cell expansive polyurethane resin into a sand mass. *Transportation Geotechnics*, 42, 101051. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2023.101051>
- Kondratov, A. B. (2005). Resin-injection soil stabilization techniques used in underground construction carried on in big cities in Russia. In *Underground space use: Analysis of the past and lessons for the future: Proceedings of the 31st ITA-AITES World Tunnel Congress* (Vol. 2). <https://clck.ru/3DPk33>
- Kozhushko, V. P., & Krasnov, S. N. (2020). Analysis of the work of an angular retaining wall in interaction with soil. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 90, 134–143. (In Russian)
- Ter-Martirosyan, Z. G., & Ter-Martirosyan, A. (2015). Interaction of long pile finite stiffness with the broadening heel and the surrounding soil. *Construction and Architecture*, 2, 79–86. <https://doi.org/10.12737/14963>
- Nuikin, S. S. (2015). Installation of reinforced concrete piles by pressing into clay soils in cramped construction conditions. *Construction and Architecture*, 3, 74–78. <https://doi.org/10.12737/16055>
- Isakov, G. I., Bekbasarov, I. I., Baytemirov, M. N., & Atenov, Y. I. (2016). Features and disadvantages of evaluation methods for piles bearing capacity based on the results of tests of their models. *Construction and Architecture*, 3, 91–99. <https://doi.org/10.12737/19675>
- ChatGPT. (2025, October 7). Verification of text consistency of values [Large language model]. OpenAI. <https://chatgpt.com/>

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Әбу Әсілхан Заірханұлы** – техника ғылымдар магистрі, Қ.И.Сәтпаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Әбу Әсілхан Заірханұлы** – магистр технических наук, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. Қ.И. Сәтпаева, г. Алматы, Казахстан

**Abu Assilkhan Zayrkhanuly** – Master of Technical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: abu.asylkhan@mail.tu,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9374-787X>,



**Бесімбаев Ерік Турашович** – техника ғылымдар докторы, Қ.И.Сәтпаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Бесімбаев Ерік Турашович** – доктор технических наук, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. Қ.И. Сәтпаева, г. Алматы, Казахстан

**Bessimbayev Yerik Turashovich** – Doctor of Technical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: y.bessimbayev@satpayev.university

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0869-3513>,



**Жамбакина Зауреш Мажитовна** – техника ғылымдарының кандидаты, Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

**Жамбакина Зауреш Мажитовна** – кандидат технических наук, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. Қ.И. Сәтпаева, г. Алматы, Казахстан

**Zhambakina Zauresh Mazhitovna** – Doctor of Technical Sciences, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: z.zhambakina@satbayev.university

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3089-563X>.







[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_3](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_3)

MPHTI 67.11.29

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ХАРАКТЕРНЫМИ СЛУЧАЯМИ ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И АНАЛИЗ ДОПУЩЕННЫХ ОШИБОК В РЕГИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЮГА КАЗАХСТАНА

## ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ АЙМАҚТЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНДАҒЫ ҒИМАРАТ НЕГІЗДЕРІ ДЕФОРМАЦИЯЛАРЫНЫҢ ТИПТІК ЖАҒДАЙЛАРЫН БАҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІ ЖӘНЕ ЖІБЕРІЛГЕН ҚАТЕЛІКТЕРДІ ТАЛДАУ

## THE RESULTS OF OBSERVATIONS OF TYPICAL CASES OF DEFORMATIONS OF THE FOUNDATIONS OF BUILDINGS AND THE ANALYSIS OF THE MISTAKES MADE IN THE REGIONAL CONDITIONS OF THE SOUTH OF KAZAKHSTAN

И.С. Бровко <sup>1</sup>, Ф.Х. Аубакирова <sup>1\*</sup>, Б.К. Дуйсенбеков <sup>1</sup>, К.С. Досалиев <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

\*Автор-корреспондент: Аубакирова Фарида Хабиевна, e-mail: faraub1011@mail.ru

### Ключевые слова:

основание здания, анализ аварийной ситуации, причина возникновения деформации, практически рекомендации.

### АННОТАЦИЯ

Цель статьи заключается в определении факторов, влияющих на возникновение деформаций оснований зданий, анализе распространенных ошибок, разработке рекомендаций для улучшения качества строительных работ и повышения устойчивости зданий в условиях Южного Казахстана. При разработке темы применены полевой метод исследования, а также методы экспертной оценки и сравнительного анализа. Наблюдения проводились за устройством оснований и возведением фундаментов строительных объектов в современной строительной практике г. Шымкент. Результаты данного исследования помогут выявить причины возникновения деформаций на ранних стадиях и служат практически рекомендациями по их предотвращению, что способствует улучшению эксплуатации зданий и уменьшению затрат на их ремонт и восстановление. Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности применения выводов и рекомендаций для улучшения качества строительства и проектирования в южном регионе Казахстана.

### Түйінді сөздер:

ғимараттың негізі, төтенше жағдайды талдау, деформацияның себебі, практикалық ұсыныстар.

### ТҮЙІНДЕМЕ

Мақаланың мақсаты – ғимараттар негіздерінің деформацияларының пайда болуына әсер ететін факторларды анықтау, жалпы қателіктерді талдау, құрылыс жұмыстарының сапасын жақсарту және Оңтүстік Қазақстан жағдайында ғимараттардың орнықтылығын арттыру бойынша ұсыныстар әзірлеу. Тақырыпты әзірлеу кезінде далалық зерттеу әдісі, сондай-ақ сараптамалық бағалау және салыстырмалы



© 2026 И.С. Бровко, Ф.Х. Аубакирова, Б.К. Дуйсенбеков, К.С. Досалиев

Данная работа распространяется на условиях лицензии

Creative Commons «С указанием авторства» 4.0 Международная (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

талдау әдістері қолданылды. Бақылаулар Шымкент қаласының қазіргі заманғы құрылыс практикасындағы құрылыс объектілерінің негіздері мен іргетастарының құрылысына жүргізілді. Бұл зерттеудің нәтижелері деформациялардың себептерін ерте кезеңдерде анықтауға көмектеседі және олардың алдын алу бойынша практикалық ұсыныстар болып табылады. Бұл ғимараттардың пайдалануын жақсартуға және оларды жөндеу мен қалпына келтіру шығындарын азайтуға көмектеседі. Қазақстанның оңтүстік өңірінде құрылыс пен жобалау сапасын жақсарту үшін қорытындылар мен ұсынымдарды қолдану мүмкіндігі алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы болып саналады.

---

**Keywords:**

the foundation of the building, emergency situation analysis, cause of deformation, practical recommendations.

---

**ABSTRACT**

The purpose of the article is to identify the factors influencing the occurrence of foundation deformations in buildings, analyze common construction errors, and develop recommendations for improving the quality of construction works and increasing building stability under the conditions of Southern Kazakhstan. The study employed field research methods, as well as expert evaluation and comparative analysis methods. Observations were conducted during the construction of foundations and substructures of building projects in the modern construction practice of Shymkent. The results of this study will help identify the causes of deformations at early stages and provide practical recommendations for their prevention, thereby contributing to improved building performance and reduced costs for repair and restoration. The practical significance of the obtained results lies in the possibility of applying the conclusions and recommendations to improve the quality of construction and design in the southern region of Kazakhstan.

---

**ВВЕДЕНИЕ**

Деформации и аварии зданий всегда имели место в строительной практике, начиная с периода, когда человек начал возводить самые простые постройки, и по настоящее время, характеризующееся строительством очень сложных объектов (Tao et al., 2022; Zhijian et al., 2024; Ahmed, 2021; Awadh, Mosleh & Muawia, 2024). Учитывая, что строительное производство является многоступенчатым, аварии могут возникать по весьма разнообразным причинам на разных стадиях строительного производства, в том числе и на этапе инженерно-геологических изысканий (Бровко, 2023; Селезнев, 2023). Масштабность аварий также широка, и их можно классифицировать, начиная от незначительных до глобальных повреждений зданий и сооружений (Айткожин, 2022; Мангушев, Осокин & Усманов, 2024).

Общеизвестны деформации оснований таких объектов, как Трансконский элеватор в Канаде или Пизанская «падающая» башня в Италии, которые часто приводятся в качестве примеров в различных литературных источниках. Однако в современных реалиях доступ к информации о причинах аварийных ситуаций строительных объектов ограничен в силу корпоративной секретности или по другим причинам. Как правило, аварийные случаи замалчиваются, скрываются и не вводятся в статистические сводки. С целью повышения безаварийности строительства в дальнейшем необходим принципиально другой подход – их надо освещать в научной печати, обсуждать, выявлять истинные причины, а также учиться на них. Ввиду этого излагаемый в данной статье материал не полностью охватывает все произошедшие предаварийные/аварийные случаи в строительной индустрии г. Шымкент. Но приводимые данные уже достаточны для обобщения и анализа проявлений неравномерных деформаций оснований под возводимыми и эксплуатируемыми объектами, а выявленные закономерности и особенности способствуют предотвращению



нежелательных ситуаций и по мере накопления дальнейшего опыта могут использоваться в геотехнической практике не только южного Казахстана, но и других регионов страны.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Необходимо отметить, что рассматриваемый в статье материал аварий и деформаций оснований зданий и сооружений не является анализом только архивных данных. Большинство примеров взяты из повседневной практики устройства оснований и возведения фундаментов на юге Казахстана. При разработке темы использовались три метода исследования: полевой, экспертной оценки и сравнительного анализа. Полевой метод исследования включал сбор данных о фактических случаях деформаций зданий и осуществлялся посредством визуальных осмотров, измерений отклонений, трещин и других признаков деформаций. Методом сравнительного анализа сопоставлялись объекты, пострадавшие от деформаций, с теми, где такие проблемы не возникли с целью выявления возможных причин и условий, способствующих этим отклонениям. Также использовался метод экспертной оценки, т.к. привлекались специалисты в области строительства и инженерии для оценки причин деформаций и ошибок, а также для разработки рекомендаций по устранению этих проблем. Все использованные методы позволяют комплексно подойти к изучению проблемы, выявить её основные причины и предложить решения для улучшения качества строительства.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Одна из первых известных нам работ, в которой делается попытка провести анализ аварий в г. Шымкент и показать официальную региональную статистику, была опубликована в 1987 г. (Югай и др., 1987). В ней указывается, что в городе ежегодно в среднем 6-7 зданий получают деформации и общее их число составляет более 100. Часть из них демонтирована из-за невозможности дальнейшей эксплуатации. Превалирующее количество таких случаев относится к строительству на просадочных грунтах, которые, как известно, являются структурно неустойчивыми: меняющими свою структуру при влиянии дополнительных факторов, в данном случае при их замачивании. В строительной практике возникают ситуации, когда замачивание происходит как сверху – вследствие утечки из коммуникаций, так и снизу – при подъеме грунтовых вод. При этом важнейшую роль играет точность инженерно-геологических изысканий, результаты которых обеспечивают долгосрочную эксплуатационную надежность возводимых объектов и прогноз поведения просадочных оснований при аварийных замачиваниях, особенно в случаях их неоднородного (слоистого) напластования и неравномерного чередования с погребенными непросадочными почвами. Следует отметить, что важнейшими показателями просадочности грунтов являются относительная просадочность, начальное просадочное давление, мощность просадочной толщи, тип грунта по просадочности и др. Хотя случаев деформирования оснований II типа по просадочности, согласно статистике, гораздо больше, ввиду более резкого проявления деформаций (даже от собственного веса грунта) просадочность грунтов I типа не следует игнорировать, т.к. при определенных условиях суммарные деформации (осадка плюс просадка) могут быть весьма существенными и выходить за рамки допустимых деформаций. Важнейшую информацию о физико-механическом состоянии просадочных грунтов дают результаты полевых (более точные и достоверные) и лабораторных испытаний, которые обычно отражаются в табличном виде и посредством графиков, среди которых наиболее востребованы графики компрессионных испытаний « $\epsilon$  -  $p$ » в сухом и водонасыщенном состоянии. Однако это стало возможным лишь относительно недавно с появлением электронных приборов одноосного и трехосного сжатия, а также цифровых полевых штамповых установок. На более ранних этапах

развития геотехнического оснащения строительной отрасли, к которому относятся объекты, попавшие на рассмотрение в данную статью, таких возможностей не было, или они в ряде случаев были проигнорированы производственными организациями. В данной статье не заостряется вопрос о количестве необходимых повторных испытаний и методах их проведения, что является неременным требованием действующих нормативных документов. Следует отметить, что в перечень рассматриваемых объектов попали уже возведенные, получившие деформации здания и сооружения, ранее прошедшие соответствующую экспертизу и все другие процессуальные допуски.

Наиболее полные данные по аварийным ситуациям зданий в городе и области в свое время были собраны в архивах изыскательских организаций на основании многолетних наблюдений, но в настоящее время многие из них утеряны. Рассмотрим некоторые наиболее характерные сохранившиеся данные.

Крупнопанельный 5-этажный дом серии 3299-УС. Тип грунтовых условий по просадочности площадки строительства – второй. Основание уплотнено тяжелыми трамбовками после предварительного замачивания. Из-за неправильной эксплуатации инженерных сетей и утечки воды происходило длительное замачивание основания торцевой стороны здания, в результате чего проявились просадочные свойства грунта, расположенного ниже уплотненного слоя. В ближнем к торцевой части подезде раскрылись трещины до 5 см, на лестничных площадках вырваны из бетона закладные детали.

Более значительные разрушения произошли в другом доме этой же серии. В результате одностороннего замачивания основания оказались смещенными плиты перекрытия, стеновые панели, лестничные марши и площадки. Плиты перекрытия оказались смещенными на 5...6 см и практически не имели опирания. Замачивание основания произошло со стороны существующей рядом вставки с магазином.

В зданиях, построенных в старой центральной части города (областная типография, детский сад, лечебный корпус областной больницы, старое здание КНБ и др.), на капитальных стенах и перегородках из-за неравномерных деформаций были выявлены многочисленные вертикальные и горизонтальные трещины. Основная причина их возникновения - поднятие уровня подземных вод и изменение физико-механических свойств грунтов оснований.

Из числа зданий, построенных на свайных фундаментах, можно отметить два крупнопанельных 5-этажных жилых дома в одном из микрорайонов. Площадка, на которой они размещались, сложена просадочными лессовидными грунтами мощностью 24...26 м. В интервале глубин 12...15 м залегает суглинок низкопористый, маловлажный, непросадочный, комковатой структуры (погребенная почва). В качестве фундаментов были приняты буронабивные сваи диаметром 600 мм и длиной 11...13 м с камуфлетным уширением, опирающиеся на прослойку непросадочного грунта. Ошибкой в этом случае было то, что застройщиком эта погребенная почва небольшой толщины, на которую опирались сваи нижними концами, была принята за коренные породы прочного грунта. Геологические исследования ниже этой прослойки не проводились, т.к. изначально планировалось строить здания на фундаментах мелкого заложения и разведанной глубины было достаточно. Но затем в экспериментальном порядке было принято решение: здания поставить на свайных фундаментах при инженерных изысканиях, выполненных для фундаментов мелкого заложения. После возведения первого дома в течение двух лет происходило замачивание основания в основном в результате утечки воды из домовых коммуникаций. За это время величины осадок отдельных свай достигли 55 см. Возведенный дом получил деформации, несовместимые с дальнейшей эксплуатацией. Строительство второго дома было остановлено до начала возведения надземной части. В

последующем конструкции были демонтированы и на их месте возведены дома по турецкому проекту. Сваи были извлечены, и на месте свайного поля был устроен глубокий котлован под два дома для устройства искусственной гравийно-песчаной подушки. Большой научно-практический интерес вызывает состояние извлеченных свай (рис. 1, 2).



**Рисунок 1.** Оголенные (верхний ряд) и извлеченные (нижний ряд) конструкции буронабивных свай

*Примечание – фото автора (Бровко И.С., 2022)*



**Рисунок 2.** Фрагменты свай, демонтированные при устройстве нового котлована

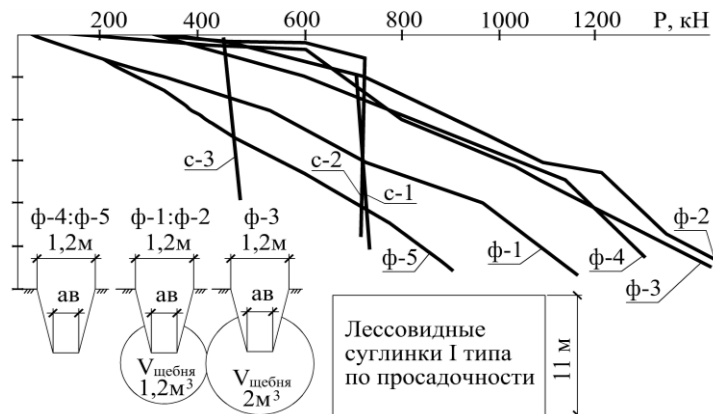
*Примечание – фото автора (Бровко И.С., 2022)*

Дело в том, что оголение свай или их извлечение для научных целей производится крайне редко в связи с большой трудоемкостью. Именно откопка показывает фактическое состояние свай, а более глубокие их исследования – взаимодействие их с окружающим грунтом. Вскрытие котлованом свай показало их цельность, вертикальность положения и хорошее состояние ствола (не было выщербленностей, каверн, пустот). Это говорит о достаточном уплотнении бетона при заливке в скважины и хорошем его качестве. Следы, оставленные зубьями ковша экскаватора, не разрушили бетон свай, что свидетельствует о высокой его прочности. Арматура свайного ствола, обнаженная при изломе, установлена по месту и имеет хорошее качество, несмотря на достаточно долгий период ее существования. По фотографиям (рис. 2) можно заметить в некоторых случаях геометрические отклонения формы свайного уширения. Это объяснимо тем, что уширения получали посредством взрыва в нижней части свай, и их форма образовывалась самопроизвольно. Т.е. грунт в камуфлетной области при взрыве больше уплотнялся в сторону, где он более податлив. В целом можно сказать, что при достаточно высоком качестве изготовления буронабивных свай авария на данном объекте произошла из-за опирания подошвы свай в прослойку, а не в коренные породы.

Известны случаи, когда аварийные ситуации удалось предотвратить своевременными дополнительными испытаниями фундаментов и корректировкой проекта. Так, при расширении хлопчатобумажного комбината для трех производственных корпусов были запроектированы фундаменты из буронабивных свай длиной 8,7 м с уширенной пятой (Югай и др., 1989). Основанием для выбора свайных фундаментов явились данные инженерно-геологических изысканий, проведенных на стадии проектирования. Правильность выбора типа фундамента должны были подтвердить статические натурные испытания пробных свай. Но по некоторым причинам эти испытания были выполнены после завершения работ по устройству буронабивных свай для двух производственных корпусов, а полученные результаты не подтвердили правильность выбора. Несущая способность испытанных свай при замачивании основания оказалась недостаточной по сравнению с расчетной несущей способностью, полученной проектным институтом: для свай с диаметром уширения 1,5 м - 800 кН; для свай с диаметром уширения 1,3 м - 700 кН. Для выявления причин создавшейся ситуации были составлены и проанализированы отчеты инженерно-геологических изысканий, проводившиеся ранее при микросейсмо-районировании города. Согласно отчетам, площадка строительства до 20...22 м представлена лессовидными суглинками, до глубины 10...11 м – маловлажными просадочными, ниже – водонасыщенными непросадочными. Получается, что до глубины 8...9 м в результатах изысканий разных организаций расхождений нет. А в интервале глубин 10...15 м, где именно расположена активная зона сжатия основания свайных фундаментов, результаты существенно расходятся. Это объясняется тем, что с глубин, находящихся ниже уровня подземных вод, образцы грунта из скважин извлекались с помощью грунтоноса. При этом из-за некачественных действий сотрудников проектно-изыскательской организации происходило переуплотнение отбираемых образцов грунта, и поэтому отобранные образцы имели плотность большую, чем грунт природной структуры. Рассчитанная по этим данным несущая способность буронабивных свай оказалась соответственно завышенной, что и показали результаты статических испытаний.

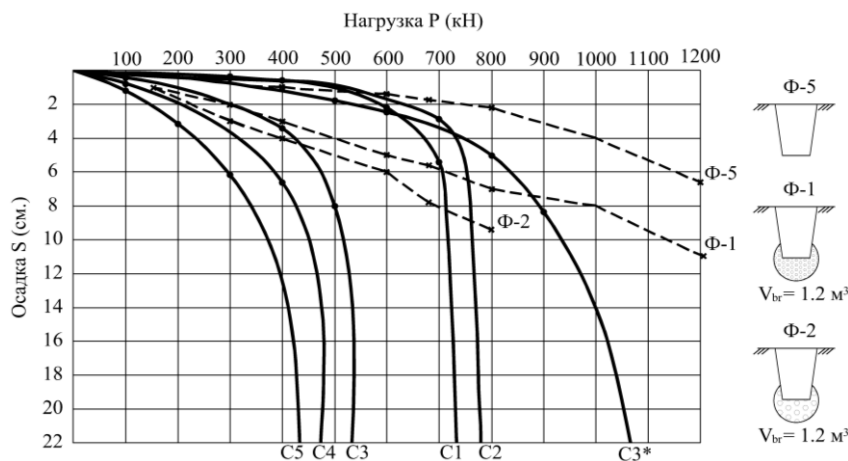
В связи с вышеизложенным возникла необходимость усиления фундаментов двух производственных корпусов, что привело к значительному удорожанию строительства. В отношении третьего корпуса, строительство которого еще не было начато, было принято решение о замене буронабивных свай новыми прогрессивными фундаментами, устраиваемыми с вытеснением грунта. Основанием для принятия такого решения послужили данные натурных испытаний фундаментов в вытрамбованных котлованах в

аналогичных инженерно-геологических условиях (рис. 3, 4). Многолетняя эксплуатация производственных корпусов данного комбината подтвердила правильность принятых решений. Следует отметить, что с этого объекта было начато внедрение новых фундаментов с повышенными эксплуатационными качествами при работе в просадочных грунтах.



**Рисунок 3.** Графики сопоставления результатов испытаний свайных фундаментов с фундаментами, устраиваемыми с вытеснением грунта

*Примечание – составлено авторами*



**Рисунок 4.** Графики  $S=f(P)$  натуральных испытаний буронабивных свай С1 - С5 и фундаментов в вытрамбованных котлованах Ф-1 – Ф-5

*Примечание – составлено авторами*

Представленные графики показывают принципиально разный характер работы вышеуказанных фундаментов. Если для свай характерен резкий срыв при достижении предельной нагрузки, характеризующийся деформациями провального типа, то для фундаментов в вытрамбованных котлованах деформации протекают плавно, даже при большей нагрузке, чем выдерживает свая (Чернюк & Шляхова, 2023).

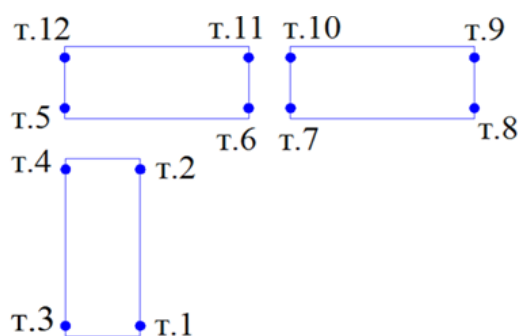
Настоящее время характеризуется строительством высотных зданий и крупных производственных предприятий, при возведении которых вероятность ошибок возрастает, особенно при строительстве в местах распространения слабых грунтов (Сутиров и др., 2022; Хапин & Махиев, 2023). Это можно показать на следующем примере. В 2004 г. было начато строительство 13-этажного жилого комплекса с подземной автостоянкой общей площадью 34 тыс. кв. м. Высота комплекса, состоящего из 3-х блоков, составляла 48 метров.

Фундамент здания был выполнен из монолитной железобетонной плиты в комбинации с перекрёстными балками. Под фундаментной плитой была изготовлена подушка из гравия с песчаным заполнением, под которой залежали суглинки непросадочные, текучей и мягкопластичной консистенции с модулем деформации, равным 2,5 МПа. После возведения 3-4-х этажей у здания появилась неравномерная осадка. По устным свидетельствам строителей, работавших на этом объекте, были выполнены несколько этапов работ по предотвращению осадки. Среди них упоминалось инъектирование цементно-песчаного раствора в основание здания со стороны, где деформации были особенно большие. Но никаких документальных подтверждений об усилении получить не удалось. Сохранились лишь результаты мониторинга застройщика за развитием деформаций, приведенные в табл. 1 и на рис. 5.

**Таблица 1.** Данные по осадке 13-этажного жилого комплекса (мм)

Дата	Точки											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19.01.2006	264	190	112	70	102	171	162	175	40	89	79	50
04.05.2006	378	276	150	86	151	252	238	279	65	116	106	61
30.06.2006	402	302	183	109	183	288	278	322	97	142	133	77
22.08.2006	418	333	212	145	211	316	307	338	142	180	169	108

*Примечание – предоставлено застройщиком*



**Рисунок 5.** Схема расположения марок на плане жилого комплекса

*Примечание – предоставлено застройщиком*

По результатам наблюдений с января по август 2006 г. можно отметить, что в наименьшей степени деформированы основания двух секций, расположенных вдоль улицы (марки № 9, 12). Также прослеживается закономерность наибольшего перемещения со стороны двора здания: марки № 1, 2, 6, 7, 8 имели максимальные перемещения, которые соответственно составили в конечном итоге 418, 333, 316, 307, 338 мм. Как уже было сказано, на данном объекте прослеживается закономерность большего развития осадок фундаментов со стороны двора, что наталкивает на мысль о возможном неравномерном выходе фундаментной плиты из уровня. Возможно, плита больше выступает на фасадную сторону, где расположены одноэтажные пристройки под кафе, магазины и т.д. Однако это проверить не представилось возможным. Осадка продолжалась около года и с окончанием строительства стабилизировалась.

Деформациям подвержены не только здания, но и разного рода сооружения. Известен пример, когда причиной деформаций опор магистрального газопровода через реку Сырдарья стали климатические изменения погоды, в частности экстремальное понижение температуры воздуха. Необходимость проведения реконструкции опор

данного сооружения связана с разрушением одной опоры металлической эстакады и креном еще шести опор, вызванных движением льда в 2008 г. Главной задачей в этом случае явилась необходимость устройства временной дамбы для возможности проведения с нее реконструкционных работ. Эта задача была решена под руководством авторов статьи. В результате временная дамба была возведена, и с нее успешно выполнены работы по замене опор трубопровода в створе реки Сырдарьи.

В качестве другого примера можно привести деформации грунтовых насыпей под дорожными полотнами. На рис. 6 показаны деформации двух автомобильных дорог, являющихся подъездными путями к производственным предприятиям, что естественно предопределяет движение по ним большегрузных автомобилей. В обоих случаях (рис. 6) дорогами перекрываются пониженные места природного рельефа. Можно отметить две совпадающие характерные детали, которые предшествуют разрушению насыпи: это образование характерных трещин, имеющих направление вдоль дороги, и понижение участка насыпи в связи с его начальным перемещением вниз.



**Рисунок 6.** Деформации грунтовых насыпей под автодороги

*Примечание – фото автора (Бровко И.С., 2023)*

Деформации дорожных насыпей представляются не такими критичными, как деформации оснований зданий, по причине очевидности их возникновения, хорошей доступности в случае ремонта и, как правило, плавного их развития. Максимальные неудобства связаны с закрытием дороги на время ремонта. Случаи, когда дорожная насыпь обрушилась под движущимся транспортом, не выявлены. Анализ причин деформаций грунта в основании дорог, приведенных на рис. 6, показал их различие. В первом случае видно, что от края откоса до асфальтной части дороги достаточно большое расстояние, и здесь причина деформации объясняется недостаточностью уплотнения грунта при его отсыпке. Во втором случае откос начинается непосредственно у края дороги, что свидетельствует об экономии на объемах земляных работ и о возможном неправильном назначении угла откоса. Хотя и правильность уплотнения основания тоже остается под вопросом. В обоих случаях экспериментальные исследования не проводились, и восстановление дорог выполнено на глаз с учетом рекомендаций дополнительного уплотнения грунта по типу террас – снизу вверх.

Значительной проблемой настоящего времени при производстве земляных работ, а именно при устройстве котлованов с вертикальными откосами, является вопрос обеспечения устойчивости земляных массивов. Современная обстановка такова, что котлованы во многих случаях отрываются среди существующей застройки (Guo et al., 2025). Иногда котлован буквально начинается у края существующего здания, пример приведен на рис.

7А. На этом объекте фотография сделана после устройства грунтовой подушки толщиной 6 м. На начальном этапе, когда котлован был открыт на полную глубину, картина была еще более устрашающей. Такая ситуация, когда вообще не предусматривается конструктивная защита вертикальных откосов котлованов, объясняется прежде всего вопросами экономического характера, когда заказчики не хотят идти на лишние, по их мнению, расходы.



**Рисунок 7.** А – пример устройства котлована вблизи существующего здания с вертикальным устройством откосов; Б – котлован с выполаженными откосами под 16-этажное здание; В, Г – котлован с вскрытым слоем супеси  
*Примечание – фото автора (Бровко И.С., 2024)*

По опыту прошлых лет действительно без креплений стен котлованов можно было обойтись при строительстве невысоких зданий и расположенных на значительном удалении от соседних объектов. Местный грунт, преимущественно из лессовых просадочных суглинков, в сухом состоянии позволял это делать. Но с учетом того, что котлованы под высокие здания стали отрывать значительно глубже, и учитывая, что теснота застройки сильно повысилась, крепление вертикальных откосов приобрело первостепенное значение. Опытные производственники, несмотря на затраты, стараются соблюдать условия безопасности для рабочих и техники, выполняющих котлованные работы.

Одним из несложных методов обеспечения безопасных условий труда является выполаживание откосов, показанное на рис. 7Б. В данном случае нашлось немного места вокруг котлована для складирования срезанного с откосов грунта, сохраненного для обратной засыпки пазух котлована.

Еще одной опасностью при выполнении земляных работ является наличие слабых прослоек по глубине разреза. На рис. 7В, Г приведены примеры устройств котлована, где в средней по глубине части разреза можно видеть прослойку супеси. Сверху и снизу от прослойки расположены слои суглинка. Очевидно, что супесь в данном случае является слабым звеном в этой структуре и имеет свойство осыпаться при вертикальном положении откоса. Это видно на рисунках, где можно выделить начавшиеся области выпадения грунта из прослойки супеси. Следует иметь в виду, что в данном случае на супесь оказывает давление собственный вес вышерасположенного 7-метрового по толщине слоя суглинка. Приведенная ситуация с устойчивостью вертикального откоса сильно усугубится, если грунт будет увлажняться, например, атмосферными осадками. Или, еще хуже, произойдут сейсмические воздействия, даже малой силы. Несмотря на эти обстоятельства, заказчики и, что самое странное, проектировщики идут на такие варианты, надеясь на успешное проведение работ в котловане в летнее сухое время.

К настоящему времени в городе уже произошло несколько обрушений откосов котлованов разной масштабности, которые следует рассматривать отдельно. Этот вопрос очень актуален на современном этапе строительства в данном регионе, т.к. от его решения зависят жизни людей. Но, к сожалению, должное внимание ему уделяется крайне редко, лишь в отдельных случаях при возведении особо сложных объектов (высотных зданий, автомобильных дорожных развязок).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные случаи аварий и деформаций оснований, собранные из доступных источников и дополненные собственными данными, позволяют сделать некоторые выводы о причинах неблагоприятных ситуаций на объектах строительства. Эти причины разнообразны и обусловлены ошибками, допущенными на разных стадиях изыскательских, проектных, строительного-монтажных работ (Бровка, 2023). Назовем наиболее часто встречающиеся ошибки при изысканиях:

- недостаточное количество и глубина технических проходок, приводящие к слабой изученности инженерно-геологического строения площадок строительства (мощности и распространения отдельных слоев грунта, расположение уровня подземных вод и т.д.);

- нарушение естественного состояния грунта при отборе монолитов из скважин, вследствие чего изменяется их плотность по сравнению с природной, и эти данные вводят в заблуждение проектировщиков;

- неправильное лабораторное определение характеристик просадочности грунта основания, следствием чего является несоответствие расчетной величины ожидаемой просадки, наблюдаемой на практике.

Наиболее часто встречающиеся ошибки при проектировании:

- не учитывается возможность замачивания основания, сложенного просадочными грунтами, вследствие чего прочностные и деформационные характеристики не соответствуют реальным;

- недостаточно учитывается воздействие сил нагружающего трения на сваи и закрепленные массивы;

- не соблюдаются требования нормативных документов о недопущении суммарных деформаций оснований (осадка плюс просадка) больше предельно допустимых значений;

- к сравнению по технико-экономическим показателям принимаются варианты подготовки оснований и устройства фундаментов неравноценные по надежности;

- не учитываются современные тенденции возведения зданий на близких расстояниях, что требует мероприятий по креплению вертикальных откосов котлованов.

К характерным ошибкам при производстве строительного-монтажных работ относятся:

- несоблюдение требования к качеству выполнения работ по подготовке искусственных оснований;

- невыполнение или игнорирование условий соблюдения надлежащего качества работ при устройстве и эксплуатации водонесущих коммуникаций в просадочных грунтах и др.

Анализ причин деформаций зданий и сооружений показывает, что подавляющее большинство случаев все-таки связано со строительством на просадочных грунтах при условии их замачивания. Применяемые традиционные методы подготовки оснований хорошо адаптированы к местным грунтовым условиям, но не могут в экстремальных случаях предохранить здания и сооружения от деформаций в случае аварийного замачивания. Для предотвращения деформаций и разрушений зданий, в том числе и повышенной ответственности, необходимо расширение арсенала геотехнических средств и методов. Требуется применение еще более надежных методов подготовки оснований и прогрессивных фундаментных конструкций, обеспечивающих долговечную эксплуатацию возводимых объектов в сложных геологических условиях юга Казахстана.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Данное исследование не имело внешнего финансирования.

**УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА:** Авторы научной статьи не использовали инструменты искусственного интеллекта (ИИ) на различных этапах подготовки своей работы, включая помощь в написании текста, редактировании, проверке фактов, а также анализе данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ahmed, M. (2021). A case study of foundation failure of a residential building: From diagnosis to repairation. *Journal of Building Materials and Structures*, 8(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4281291>
- Awadh, A., Mosleh, A.-Sh., & Muawia, D. (2024). Evaluating the feasibility of inverted T foundation on expansive soils. *Journal of Building Engineering*, 97, 110788. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110788>
- Tao, Y., Shuailei, L., Xueyan, W., Hao, Z., Yang, L., & Yanwei, L. (2022). Analysis of the deformation law of deep and large foundation pits in soft soil areas. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.828354>
- Guo, C., Yang, X., Guo, C., & Li, P. (2025). Analysis of deformation of deep and large foundation pit support structure and impact on neighbouring buildings in complex environments. *Buildings*, 15(9), 1435. <https://doi.org/10.3390/buildings15091435>
- Ge, C., Yang, M., Li, P., & Zhang, M. (2024). Influence of deep foundation pit excavation on surrounding environment: A case study in Nanjing, China. *Acta Geophysica*, 73, 495–516. <https://doi.org/10.1007/s11600-024-01425-0>
- Zhijian, J., Shu, Z., Xiangcheng, Q., & Xinliang, G. (2024). Deformation effects of deep foundation pit excavation on retaining structures and adjacent subway stations. *Buildings*, 14(8), 2521. <https://doi.org/10.3390/buildings14082521>
- Айтқожин, А.Т. (2022). Причины деформаций зданий и сооружений. Проблемы инженерной графики и профессионального образования, 6(39), 51–60. // Aitkozhin, A.T. (2022). Prichiny deformatsiy zdaniy i sooruzheniy [Causes of deformations of buildings and structures]. *Problemy inzhenernoy grafiki i professional'nogo obrazovaniya*, 6(39), 51–60. (In Russ.)
- Бровко, И. С. (2023). Геотехника Южного Казахстана. Опыт практикующего ученого. Шымкент: Оңтүстік Полиграфия. // Brovko, I. S. (2023). *Geotekhnika Yuzhnogo*

- Kazakhstan. Opyt praktikuyushchego uchenogo [Geotechnics of Southern Kazakhstan. Experience of a practicing scientist]. Shymkent: Ontustik Poligrafiya. (In Russ.)
- Мангушев, Р. А., Осокин, А. И., & Усманов, Р. А. (2024). Устройство и реконструкция оснований и фундаментов на слабых и структурно неустойчивых грунтах. СПб.: Лань. // Mangushev, R. A., Osokin, A. I., & Usmanov, R. A. (2024). Ustroystvo i rekonstruktsiya osnovaniy i fundamentov na slabykh i strukturno-neustoychivyykh gruntakh [Construction and reconstruction of bases and foundations on weak and structurally unstable soils]. St. Petersburg: Lan'. (In Russ.)
- Селезнев, А. К. (2023). Причины деформации зданий и методы решения. Инновации и инвестиции, 6, 291–294. // Seleznev, A. K. (2023). Prichiny deformatsii zdaniy i metody resheniya [Causes of building deformation and methods of solution]. Innovatsii i investitsii, 6, 291–294. (In Russ.)
- Сутиров, Ж. У., Байсарова, Г. Г., Жайылхан, Н. А., Нигметов, М. Ж., Ержанов, К. Ш., & Суйменова, М. К. (2022). Причины возникновения аварийных ситуаций при строительстве и проектировании жилых зданий. Механика и технология, 3, 18–26. <https://doi.org/10.55956/RTEZ6342> // Sugirov, Zh. U., Baisarova, G. G., Zhaiylkhan, N. A., Nigmatov, M. Zh., Erzhanov, K. Sh., & Suimenova, M. K. (2022). Prichiny vzniknoveniya avariynykh situatsiy pri stroitel'stve i proektirovanii zhilykh zdaniy [Causes of emergency situations in the construction and design of residential buildings]. Mekhanika i Tekhnologiya, 3, 18–26. <https://doi.org/10.55956/RTEZ6342> (In Russ.)
- Хапин, А. В., & Махиев, Б. Е. (2023). Причины образования трещин в кирпичных стенах пятиэтажного жилого дома, возведенного в условиях горного рельефа. Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева, 2, 265–273. [https://doi.org/10.51885/1561-4212\\_2023\\_2\\_265](https://doi.org/10.51885/1561-4212_2023_2_265) // Khapin, A. V., & Makhiev, B. E. (2023). Prichiny obrazovaniya treshchin v kirpichnykh stenakh pyatietazhnogo zhilogo doma, vozvedennogo v usloviyakh gornogo rel'efa [Causes of cracks in the brick walls of a five-story residential building constructed in mountainous terrain]. Vestnik VKTU im. D. Serikbaeva, 2, 265–273. [https://doi.org/10.51885/1561-4212\\_2023\\_2\\_265](https://doi.org/10.51885/1561-4212_2023_2_265) (In Russ.)
- Чернюк, В.П., & Шляхова, Е.И. (2023). Эффективные конструкции трамбовок для устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 5, 19–23. // Chernyuk, V. P., & Shlyakhova, E. I. (2023). Effektivnyye konstruktssii trambovok dlya ustroystva fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh [Effective designs of rammers for constructing foundations in rammed pits]. Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova, 5, 19–23. (In Russ.)
- Югай, О. К., Бровко, И. С., Филипчук, Л. А., & Ким, В. В. (1987). Причины деформаций зданий на просадочных грунтах г. Шымкента. КазЦНТИ. Экспресс-информация, 4, 3. // Yugai, O. K., Brovko, I. S., Filipchuk, L. A., & Kim, V. V. (1987). Prichiny deformatsiy zdaniy na prosadochnyykh gruntakh g. Shymkenta [Causes of building deformations on collapsible soils in Shymkent]. KazTsNTI. Ekspress-informatsiya, 4, 3. (In Russ.)
- Югай, О.К., Бровко, И.С., Дубровский, В.А., & Кунанбаева, Я.Б. (1989). Рациональные конструкции фундаментов в грунтовых условиях г. Шымкента. В Устройство оснований и фундаментов в региональных грунтовых условиях Казахстана: тезисы докладов республиканского совещания (с. 6–8). Алматы: Алтын алка. // Yugai, O.K., Brovko, I.S., Dubrovskiy, V.A., & Kunanbaeva, Ya. B. (1989). Ratsional'nye konstruktssii fundamentov v gruntovykh usloviyakh g. Shymkenta [Rational foundation structures in the soil conditions of Shymkent]. In Ustroystvo osnovaniy i fundamentov v regional'nykh gruntovykh usloviyakh Kazakhstan: tezisy dokladov respublikanskogo soveshchaniya (pp. 6–8). Almaty: Altyn alka. (In Russ.)

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Бровко Игорь Степанович** – техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент қ., Қазақстан

**Бровко Игорь Степанович** – доктор технических наук, профессор, Южно-Казakhstanский исследовательский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

**Brovko Igor** – doctor of technical sciences, Professor, South Kazakhstan Research University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

e-mail: brovkoi56@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3597-5804>,



**Аубакирова Фарида Хабиевна** – техникалық ғылымдар кандидаты, қауымдастырылған профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент қ., Қазақстан

**Аубакирова Фарида Хабиевна** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Южно-Казakhstanский исследовательский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

**Aubakirova Farida** – candidate of technical sciences, Associate Professor, South Kazakhstan Research University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

e-mail: faraub1011@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4687-1528>,



**Дүйсенбеков Болат Қамбарович** – PhD доктор, қауымдастырылған профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент қ., Қазақстан

**Дүйсенбеков Болат Камбарович** – доктор PhD, ассоциированный профессор, Южно-Казakhstanский исследовательский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

**Duissenbekov Bolat** - doctor of Philosophy (PhD), Associate Professor, South Kazakhstan Research University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan,

e-mail: bolat003@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3476-5218>,



**Досалиев Канат Серікұлы** – PhD доктор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті, Шымкент қ., Қазақстан

**Досалиев Канат Серикович** – доктор PhD, Южно-Казakhstanский исследовательский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

**Dossaliev Kanat** – doctor of Philosophy (PhD), South Kazakhstan Research University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

e-mail: dosaliev\_k@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5423-9231>







[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_4](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_4)

SRSTI 67.11.59

## PROPERTIES ON THE BEHAVIOUR OF STEEL-REINFORCED CONCRETE STRUCTURES INFLUENCE OF CONCRETE AND STEEL THERMOPHYSICAL

## БЕТОН МЕН БОЛАТТЫҢ ЖЫЛУФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНІҢ БОЛАТТЕМІРБЕТОН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫСЫНА ӘСЕРІ

## ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНА И СТАЛИ НА ПОВЕДЕНИЕ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

A.A. Bryantsev <sup>1,2</sup>, S.M. Tolebay <sup>2</sup>, I.I. Ostapenko <sup>1,2\*</sup>, A.E. Буханцева <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Scientific research institute «RAS Engineering», Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

\*Corresponding author: Ostapenko Inna Ivanovna, e-mail: Ostapinna@mail.ru

### Keywords:

steel-reinforced concrete,  
thermal actions,  
thermophysical properties,  
temperature gradients,  
thermal stresses, shear  
connectors, composite  
interaction, fire exposure.

### ABSTRACT

This review-analytical study examines how the thermophysical properties of concrete and steel influence the behavior of steel-reinforced concrete structures under climatic and fire-induced temperature actions. The aim is to systematize the main mechanisms of temperature-induced stresses and deformations and assess their effect on composite action. The methodology includes analysis, classification, comparison, and synthesis of published analytical, experimental, and numerical studies, supported by illustrative calculations of axial stresses, bending moments from temperature gradients, and shear forces in connectors. The results show that differences in thermal expansion, conductivity, and heat capacity generate self-equilibrated stresses, redistribute internal forces, reduce stiffness, and may decrease load-bearing capacity, especially in statically indeterminate systems and under fire. The scientific novelty lies in integrating these mechanisms within a unified interpretation and highlighting the governing role of shear connectors. The findings can support more reliable design models, while further research should refine predictive methods and expand experimental validation.

### Түйінді сөздер:

болат-темірбетон,  
температуралық әсерлер,  
жылуфизикалық  
қасиеттер,  
температуралық  
градиенттер,  
температуралық

### ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада климаттық және өрт жағдайындағы температуралық әсерлер кезінде бетон мен болаттың жылуфизикалық қасиеттерінің болат-бетон композитті конструкциялардың жұмысына ықпалына шолу-талдамалық талдау жасалған. Зерттеудің мақсаты – температуралық деформациялар мен кернеулердің пайда болу механизмдерін жүйелеу және олардың материалдардың бірлескен жұмысына әсерін бағалау. Әдістеме жарияланған аналитикалық,



© 2026 The Author(s)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0  
International License (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

кернеулер, ығысу  
қосқыштары, композиттік  
өзара әрекет, өрттік әсер.

эксперименттік және сандық зерттеулерді талдау, жіктеу, салыстыру және жинақтауды, сондай-ақ осьтік температуралық кернеулердің, температуралық градиенттерден туындайтын иілу моменттерінің және қосқыштардағы көлденең ығысу күштерінің иллюстрациялық есептерін қамтиды. Сызықтық ұлғаю коэффициенті, жылуөткізгіштік және жылусыйымдылық айырмашылықтары өздігінен теңгерілетін кернеулерді, ішкі күштердің қайта бөлінуін, қаттылықтың төмендеуін және көтергіштік қабілеттің азаюын туындататыны анықталды, әсіресе статикалық анықталмаған жүйелерде және өрт кезінде. Зерттеудің ғылыми жаңалығы аталған механизмдерді кешенді жүйелеуде және ығысу қосқыштарының шешуші рөлін негіздеуде. Нәтижелер есептік модельдерді нақтылауға және жобалау сенімділігін арттыруға қолданылуы мүмкін; келешек зерттеулер болжау әдістерін жетілдіруге және эксперименттік валидацияны кеңейтуге бағытталуы тиіс.

---

**Ключевые слова:**

сталежелезобетон,  
температурные  
воздействия,  
теплофизические  
свойства, температурные  
градиенты,  
температурные  
напряжения, сдвиговые  
соединители,  
композитное  
взаимодействие, огневое  
воздействие.

---

**АННОТАЦИЯ**

В статье представлен обзорно-аналитический анализ влияния теплофизических свойств бетона и стали на поведение сталебетонных композитных конструкций при климатических и пожарных температурных воздействиях. Цель исследования состоит в систематизации основных механизмов возникновения температурных деформаций и напряжений и оценке их влияния на совместную работу материалов. Методика включает анализ, классификацию, сопоставление и обобщение опубликованных аналитических, экспериментальных и численных исследований, а также иллюстративные расчёты осевых температурных напряжений, изгибающих моментов от температурных градиентов и поперечных сдвиговых усилий в соединителях. Установлено, что различия в коэффициентах температурного расширения, теплопроводности и теплоёмкости вызывают самоуравновешенные напряжения, перераспределение внутренних усилий, снижение жёсткости и уменьшение несущей способности, особенно в статически неопределимых системах и при пожаре. Научная новизна заключается в комплексной систематизации указанных механизмов и обосновании определяющей роли сдвиговых соединителей. Практическая значимость результатов связана с уточнением расчётных моделей и повышением надёжности проектирования; дальнейшие исследования должны быть направлены на совершенствование прогнозных методов и экспериментальную верификацию.

---

## INTRODUCTION

Steel-reinforced concrete structures are currently widely used in civil and industrial construction due to the rational combination of the strength and deformation properties of steel and concrete. The composite action of these materials makes it possible to efficiently resist both permanent and variable loads, ensuring high load-bearing capacity, stiffness, and economic efficiency of structural solutions. At the same time, the reliability and durability of steel-reinforced concrete elements are largely governed by their service conditions, including the effects of temperature actions.

Unlike conventional design loads, temperature actions are complex in nature and often non-uniform. They manifest themselves in the form of daily and seasonal climatic fluctuations, temperature gradients across the cross-section of elements, as well as extreme thermal effects arising during fire exposure. Significant differences in the thermophysical properties of



concrete and steel, such as the coefficients of linear thermal expansion, thermal conductivity, and heat capacity, lead to dissimilar material responses to temperature changes. Under composite action, this results in the development of self-equilibrated internal stresses, additional axial forces, bending moments, and increased shear stresses in the steel-concrete interface zone.

Temperature effects play a particularly important role in statically indeterminate systems and in structures operating under continental climate conditions characterized by substantial annual temperature variations. In such environments, temperature-induced forces may reach magnitudes comparable to those caused by service loads and can significantly affect the stress-strain state of elements, the performance of shear connectors, and the overall structural stability. Under fire exposure, thermal effects are further intensified by the degradation of strength and deformation properties of materials, which may lead to disruption of composite action and redistribution of internal forces.

Despite the existence of design codes regulating the calculation of steel-reinforced concrete structures with allowance for temperature actions, practical assessments are often limited to simplified approaches. This highlights the need for a more detailed analysis of the thermophysical properties of concrete and steel and their influence on the behavior of composite elements under various thermal regimes.

This article examines the principal mechanisms governing the formation of temperature-induced deformations and stresses in steel-reinforced concrete structures. The effects of temperature gradients across the cross-section, climatic and fire actions are analyzed, and the role of shear connectors in ensuring composite action is assessed. The obtained results contribute to a deeper understanding of the thermal behavior of steel-reinforced concrete elements and may be applied in the analysis and design of structures operating under complex climatic and service conditions.

## LITERATURE REVIEW

The development of steel-reinforced concrete (SRC) structures is associated with their high load-bearing capacity, rational use of materials, and efficient composite interaction between steel and concrete in buildings and structures of various functional purposes. Along with service loads, temperature actions have a significant influence on the stress-strain state of such structures and may be climatic, technological, or accidental in nature. Under continental climate conditions characterized by large daily and seasonal temperature variations, the consideration of thermal effects becomes particularly important (Bai et al., 2023; Zhang et al., 2024; Zhou et al., 2020; Huang et al., 2023).

Recent studies indicate that a key feature of the behavior of steel-reinforced concrete structures under temperature actions is the difference in the thermophysical properties of steel and concrete, primarily the coefficients of linear thermal expansion, thermal conductivity, and heat capacity. These differences lead to non-uniform temperature-induced deformations and the formation of additional internal forces in composite elements even in the absence of external loading (Zhang et al., 2020; Fan et al., 2022; Zhu et al., 2020; Zhou et al., 2020).

It has been established that the magnitude of temperature deformations in concrete significantly depends on its moisture content, age, type of aggregates, and heat-transfer conditions, which further complicates the composite interaction of materials within SRC cross-sections. When a rigid connection exists between the steel and concrete components, free thermal expansion is restrained, resulting in the development of self-equilibrated axial stresses that are redistributed between the components of the composite element (Li et al., 2021; Zhang et al., 2022; Mansour & Ebid, 2023).

A separate line of research focuses on the influence of temperature gradients across the depth of steel-reinforced concrete elements. Under real service conditions, temperature

distribution over the cross-section is non-uniform due to solar radiation, heat transfer through enclosing structures, and the thermal inertia of concrete components. Studies conducted on steel-reinforced concrete and related composite structures demonstrate that temperature gradients can generate bending moments comparable in magnitude to those induced by service loads (Zhang et al., 2023; Bai et al., 2023; Huang et al., 2023; Zhou et al., 2020).

Similar conclusions have been reported in a number of studies, which emphasize that temperature-induced bending moments are of an inherent nature and may arise even in the absence of external loads. In statically indeterminate systems, such deformations are partially or fully restrained, which can lead to an increase in internal forces and additional loading of connecting elements (Zhang et al., 2020; Zhang et al., 2022).

The scientific literature also highlights that climatic temperature variations cause cyclic loading of steel-reinforced concrete structures. Daily and seasonal temperature changes result in repeated cycles of tension and compression, which are particularly critical for the steel-concrete interface. Recent studies show that repeated thermal cycles contribute to the accumulation of damage in concrete, the development of microcracks, and the degradation of bond between concrete, reinforcement, and shear connectors (Sheng et al., 2020; Zhu et al., 2020; Yang, B. et al., 2023).

It is noted that shear connectors, which transfer shear forces caused by relative longitudinal slip between steel and concrete, are the most sensitive to temperature cycling. During long-term service, this may lead to fatigue-related reduction in connector strength and a decrease in the stiffness of the composite cross-section, which should be taken into account in the design and durability assessment of SRC structures (Mansilla et al., 2024; Maliji & Yousefpour, 2023; Ding et al., 2025).

A substantial body of research is devoted to the analysis of steel-reinforced concrete structures under fire exposure. It has been established that at temperatures of approximately 500–600 °C, the strength and deformation properties of steel decrease sharply, whereas concrete, due to its higher thermal inertia, retains its load-bearing capacity for a longer time (Bolina et al., 2021; Ding et al., 2023; Peng & Zhou, 2023; Liu et al., 2022).

At temperatures exceeding 700–800 °C, dehydration and spalling processes occur in concrete, leading to the loss of the protective cover and accelerated heating of steel elements. Under such conditions, the load on shear connectors increases significantly, and degradation of bond may result in the loss of composite action and the transition of the element to a non-composite behavior mode (Drury & Quiel, 2023; Yang, W. et al., 2023; Martinez & Jeffers, 2021a; Li et al., 2023; Zhang et al., 2025; Long et al., 2024; Wang et al., 2025).

Experimental and numerical studies reported in the literature indicate that exposure to high temperatures leads to a complex degradation of the mechanical properties of steel and concrete, accompanied by stiffness reduction, possible growth of internal forces, and deterioration of the performance of the steel-concrete connection zone. The relevance of performance-based approaches to fire analysis of composite systems is also emphasized in recent studies (Bolina et al., 2021; Ding et al., 2023; Martinez & Jeffers, 2021a; Gernay & Elhami Khorasani, 2020).

The conducted review of scientific sources shows that temperature actions are considered in contemporary research as one of the significant factors affecting the behavior of steel-reinforced concrete structures. Differences in the thermophysical properties of steel and concrete, the presence of temperature gradients, climatic fluctuations, and fire exposure generate additional internal forces that, in some cases, can make a noticeable contribution to the overall stress-strain state of elements (Zhang et al., 2020; Bai et al., 2023; Zhu et al., 2020).

The results of recent studies point to the necessity of a comprehensive consideration of temperature effects in the design and analysis of SRC structures, especially for regions with continental climates. This determines the relevance of further research aimed at refining calculation models and developing effective structural solutions that ensure the reliability and durability of steel-reinforced concrete systems.



## MATERIALS AND METHODS

The present study is conducted as an analytical and theoretical investigation aimed at the systematization and generalization of contemporary scientific approaches to the assessment of temperature actions on steel-reinforced concrete structures. The methodological framework of the research is based on an integrated approach that includes the analysis of published scientific studies, synthesis of experimental and numerical research results, and comparison of various models used to describe temperature-induced stress–strain behavior of composite elements.

The research materials consist of peer-reviewed scientific publications by domestic and international authors devoted to the analysis of temperature deformations, thermal stresses, and the features of composite interaction between steel and concrete under climatic and fire exposure. A significant portion of the reviewed sources addresses the modeling of non-uniform temperature fields and temperature gradients in composite elements (Zhang et al., 2020; Zhu et al., 2020; Fan et al., 2022; Bai et al., 2023; Zhou et al., 2020; Huang et al., 2023), as well as studies devoted to heat-transfer processes in concrete components and related structural systems (Mansour & Ebid, 2023).

The research methodology is based on the analysis and systematization of up-to-date scientific data presented in publications focused on temperature effects on steel-reinforced concrete structures. Within the scope of this study, investigations addressing both short-term and long-term temperature actions were reviewed, including daily and seasonal climatic variations, as well as extreme thermal regimes arising during fire exposure (Bolina et al., 2021; Martinez & Jeffers, 2021a; Martinez & Jeffers, 2021b; Ding et al., 2023; Drury & Quiel, 2023; Peng & Zhou, 2023).

The methodology of the study is founded on the following methods:

1. Scientific publications were classified according to thematic criteria reflecting key aspects of temperature effects on steel-reinforced concrete structures. Particular attention was paid to studies devoted to the thermophysical properties of steel and concrete, the formation of temperature gradients across element cross-sections, the influence of climatic temperature variations, and the behavior of steel-reinforced concrete structures and shear connectors under fire and elevated temperature exposure. This grouping enabled comparison of different scientific approaches and identification of common patterns in the development of temperature-induced deformations and internal forces in composite elements.

2. A comparative method was used to examine different approaches to the evaluation of temperature-induced deformations and stresses in steel-reinforced concrete elements. This analysis made it possible to identify both common trends and discrepancies in the interpretation of thermal effects, as well as to determine areas where a unified methodological framework has not yet been established.

3. The provisions of current design codes related to the consideration of temperature actions in the analysis of steel-reinforced concrete structures were examined. Special attention was given to comparing regulatory requirements with the conclusions of scientific studies, which allowed potential limitations and assumptions inherent in normative calculation methods to be identified.

4. Based on published data, the results of experimental testing and numerical simulations addressing the influence of temperature on the mechanical properties of steel, concrete, and connecting elements were summarized. This made it possible to develop an integrated understanding of the changes in the stress–strain state of steel-reinforced concrete structures under various temperature regimes.

The study was carried out in several successive stages.

At the first stage, a collection and preliminary analysis of scientific and regulatory sources addressing temperature actions on steel-reinforced concrete structures was performed. The selected sources were evaluated in terms of scientific relevance, completeness of the presented data, and applicability to contemporary design conditions.

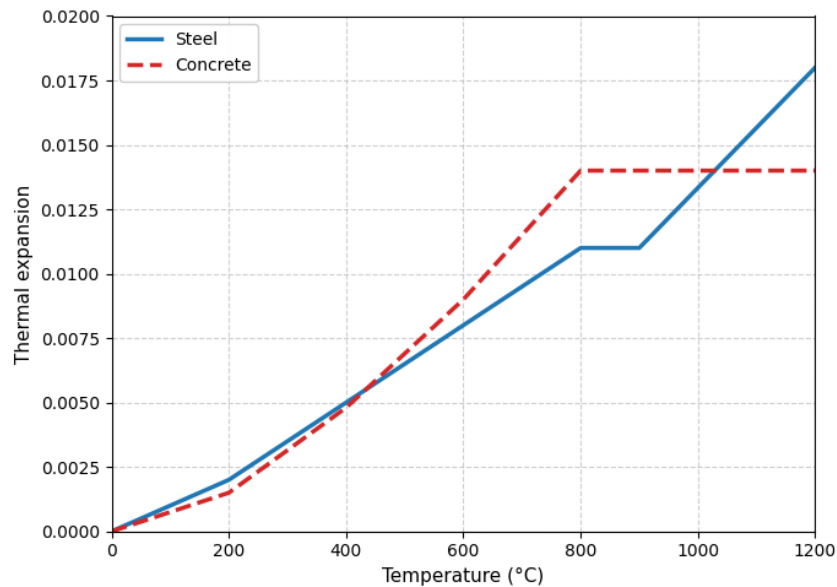
At the second stage, a critical assessment of the selected materials was conducted. Particular attention was paid to the analysis of the adopted calculation models, experimental assumptions and simplifications, as well as the extent to which real service conditions of structures were taken into account.

At the third stage, the obtained data were systematized and the main patterns governing the influence of temperature actions on the behavior of steel-reinforced concrete elements were identified. Based on a comparative analysis, the key factors determining the development of temperature-induced stresses and deformations were distinguished.

The final stage of the study was aimed at formulating generalized conclusions that may be used as a theoretical basis for further analytical, experimental, and design-oriented research on steel-reinforced concrete structures.

It should be noted that the study has a review and analytical character and is based on published data. The absence of original experimental testing and numerical modeling limits the possibility of quantitative assessment of certain parameters. Nevertheless, the performed analysis makes it possible to develop an integrated understanding of the current state of research in this field and to identify promising directions for further scientific investigations.

Steel and concrete are characterized by significantly different thermophysical properties, which determine their dissimilar response to temperature variations and, consequently, have a pronounced influence on the conditions of composite interaction within steel-reinforced concrete structures. One of the key parameters governing the thermal sensitivity of a material is the coefficient of linear thermal expansion. For steel, its value is approximately  $\alpha_c \approx 12 \cdot 10^{-6}1/^\circ\text{C}$ , whereas for concrete it typically lies within the range  $\alpha_c \approx 8 - 11 \cdot 10^{-6}1/^\circ\text{C}$  and depends on the type of concrete, its density, moisture content, and age. This variability is confirmed by the results of experimental and numerical studies (Zhang et al., 2020; Bai et al., 2023). A comparison of the above values is presented in Figure 1.



**Figure 1.** Thermal expansion of steel and concrete at different temperatures

*Note – compiled by the authors*

Thus, the difference between the coefficients of linear thermal expansion of steel and concrete reaches 20–35%, which leads to the development of non-uniform temperature-induced deformations within the composite cross-section (Zhang et al., 2020; Bai et al., 2023). With increasing temperature, the steel component of an element tends to expand more intensively than

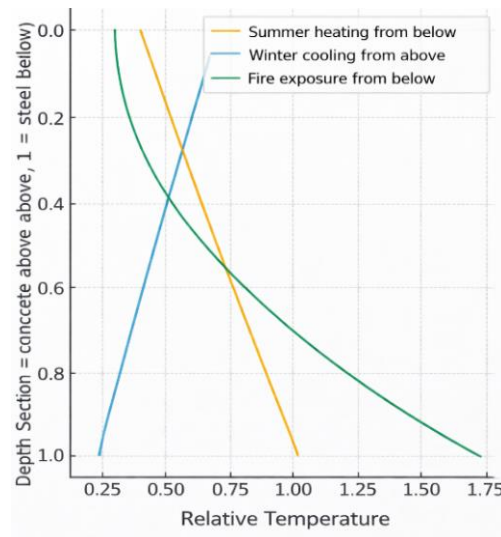
the concrete component, as confirmed by numerical and experimental studies on the temperature-induced stress state of steel-reinforced concrete elements (Fan et al., 2022; Zhu et al., 2020). However, composite action within an SRC element restrains the free deformation of each material, resulting in the generation of additional internal stresses in the cross-section.

These stresses are primarily manifested in the form of axial forces arising from the difference in thermal elongation between steel and concrete and from the restraint provided by the intermaterial connections. At the same time, the stress level in the zone of shear connectors increases, as these elements ensure composite action by preventing relative longitudinal slip between the steel and concrete components (Zhang et al., 2022; Fan et al., 2022). In the presence of significant temperature gradients, the load acting on the connecting elements may reach magnitudes comparable to those induced by service loads, as reported in studies devoted to the analysis of temperature fields and internal forces in composite cross-sections (Bai et al., 2023).

In addition to axial forces, transverse shear stresses also develop within the composite cross-section, being particularly pronounced in regions of connector concentration and in transitional zones of the section. As demonstrated in a number of studies, the presence of such stresses may lead to redistribution of internal forces within the slab structure, reduction in connection stiffness, and increased sensitivity of steel-reinforced concrete structures to cyclic and fatigue-related actions (Sheng et al., 2020; Zhu et al., 2020; Mansilla et al., 2024).

## RESULTS AND DISCUSSION

Under real service conditions, steel-reinforced concrete structures almost never operate under a uniform temperature field across the cross-section. As a rule, temperature varies along the depth of the element, forming a temperature gradient, the presence of which leads to the development of additional deformations and internal forces that are not directly associated with external loading but have a significant influence on the stress–strain state of the structure (Zhang et al., 2020; Bai et al., 2023). Typical examples of temperature gradient distributions across the cross-section are shown in Figure 2.



**Figure 2.** Temperature gradient distributions across the cross-section

*Note – compiled by the authors*

The nature of temperature distribution in steel-reinforced concrete elements is governed by the type of thermal action and the adopted structural configuration. For composite floors on profiled steel decking located directly beneath the roof, a typical situation arises in which solar

radiation has a more pronounced effect on the lower steel component. Due to its lower heat capacity and higher thermal conductivity, the profiled steel deck heats up more rapidly and reaches higher temperatures than the upper concrete slab. As a result, the lower part of the cross-section becomes warmer than the upper part, leading to curvature of the element and the development of additional temperature-induced bending moments. In terms of deformation pattern, these moments are equivalent to those caused by service loads producing downward deflection.

During the winter period, the temperature field may exhibit the opposite character. Under low ambient temperatures, the concrete part of the floor—especially in unheated or poorly insulated areas—may cool more intensively, whereas steel elements located closer to the heated interior volume of the building or protected by finishing layers can retain a higher temperature. In this case, a temperature gradient is formed in which the upper zone of the cross-section is colder than the lower zone. Such a temperature distribution also induces curvature of the element, but with the opposite direction of curvature, resulting in bending moments that differ in both sign and magnitude from those caused by service loads (Zhang et al., 2020; Bai et al., 2023).

The most unfavorable conditions occur under fire exposure, for example when a fire develops beneath the structure. The lower part of a steel beam or profiled deck is heated much more rapidly and to significantly higher temperatures than the upper concrete slab. Under these conditions, steel experiences a substantial reduction in elastic modulus and yield strength, while the temperature gradient across the cross-section becomes extremely steep. As a consequence, considerable temperature-induced bending moments and axial forces are generated, which in some adverse scenarios may reach or even exceed the levels associated with service load effects. At the same time, the composite action of the element is disrupted, and the connecting devices operate in a state close to their ultimate capacity (Bolina et al., 2021; Ding et al., 2023).

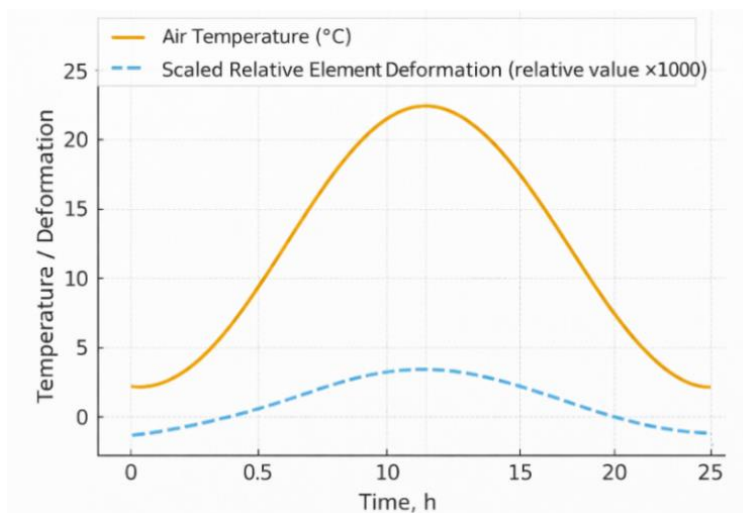
It is important to emphasize that temperature gradients give rise to so-called self-equilibrated (inherent) stresses. Even in the absence of external loading, a composite cross-section tends to bend due to non-uniform thermal deformations. In statically indeterminate systems, such curvature is partially or fully restrained by boundary and support conditions, resulting in the development of additional internal forces. When combined with service loads, these forces may lead to redistribution of bending moments, increased stress levels in specific zones of the cross-section, and a reduction in the available load-bearing capacity.

For steel-reinforced concrete structures, particularly those operating under continental climate conditions characterized by large daily and seasonal temperature variations, the consideration of temperature gradients across the cross-section is an essential aspect of structural analysis and reliability assessment. During design, it is necessary to account for possible types of temperature fields and their interaction with service loads, which enables an accurate evaluation of the stress–strain state of composite elements and ensures the required level of safety and durability.

### **Climatic factors**

Climatic temperature actions are among the most significant factors governing the behavior of steel-reinforced concrete structures. Under continental climate conditions, daily temperature fluctuations may reach 20–30 °C, while seasonal variations can amount to 50–65 °C, resulting in regular cycles of heating and cooling of structural elements. The most intensive heating is typically experienced by metallic components of floors and roofs exposed to solar radiation; in some cases, the temperature of profiled steel decking or the bottom flanges of steel beams may reach 70–85 °C, which is consistent with studies on solar-radiation-induced temperature fields and non-uniform heating of structural members (Huang et al., 2023; Zhou et al., 2020).

Due to the differences in the thermophysical properties of materials, a pronounced temperature gradient develops within the composite cross-section, as steel heats up more rapidly and to higher temperatures than the concrete component. This behavior is confirmed by field observations and analytical studies (Zhu et al., 2020; Huang et al., 2023). A typical temperature distribution across the cross-section is shown in Figure 3.



**Figure 3.** Daily temperature fluctuations and schematic deformation of a steel-concrete composite member

*Note – compiled by the authors*

Due to the differences in the thermophysical properties of materials, a pronounced temperature gradient develops within the composite cross-section, as steel heats up more rapidly and to higher temperatures than the concrete component. This behavior is confirmed by field observations and analytical studies (Zhu et al., 2020). A typical temperature distribution across the cross-section is shown in Figure 3.

Differences in the temperature-induced deformations of steel and concrete lead to periodic tensile and compressive actions in steel-reinforced concrete systems under cyclic climatic temperature variations. The zones most sensitive to such effects are the material interface regions, where shear connectors are subjected to repeated shear forces caused by relative longitudinal slip between the steel and concrete components. These cyclic actions may accumulate over time, promoting the development of fatigue damage, a reduction in the strength of connecting elements, degradation of bond in the steel–concrete interface, and the formation of microcracks in the concrete slab, as reported in recent studies on the thermal stress behavior of composite structures (Zhu et al., 2020; Yang, B. et al., 2023).

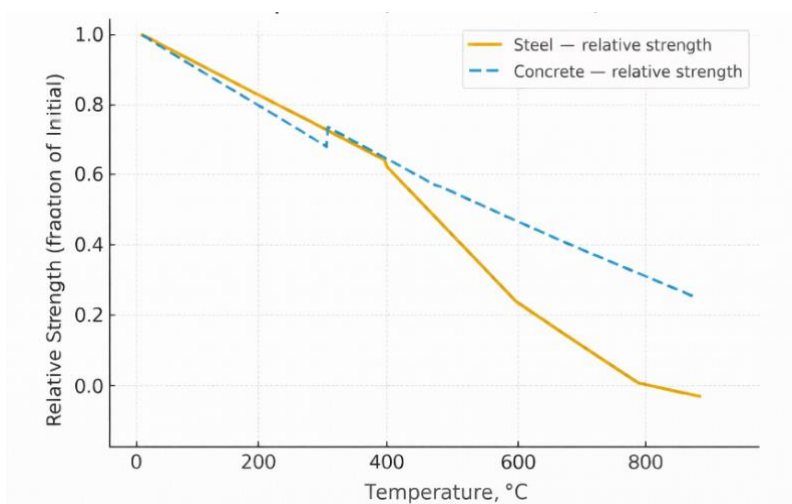
In the long term, the progression of these processes may result in a reduction in the stiffness of the composite cross-section and deterioration of its load-bearing capacity. Therefore, climatic temperature variations should be regarded as an important design factor governing the deformation behavior of steel-reinforced concrete structures, affecting the durability of shear connectors, and requiring mandatory consideration in design and reliability assessment of SRC systems.

### **Fire exposure**

Fire exposure causes extremely intense and non-uniform heating of steel-reinforced concrete structural elements, leading to significant changes in their mechanical properties and disruption of the composite interaction between steel and concrete. Due to its high thermal conductivity, steel heats up much faster than the concrete component, and already at

temperatures of approximately 500–600 °C its strength and elastic modulus decrease by about half. This is accompanied by an increase in thermal deformations, a reduction in the load-bearing capacity of the element, and an elevated risk of local instability, as confirmed by experimental and numerical studies on the fire performance of composite structures (Bolina et al., 2021; Ding et al., 2023; Peng & Zhou, 2023; Liu et al., 2022).

Concrete is characterized by higher thermal inertia and, at the initial stage of a fire, retains its load-bearing capacity for a longer period. However, at temperatures on the order of 700–900 °C, processes of dehydration, thermal expansion of aggregates, and accumulation of internal pore pressures develop within the concrete matrix, resulting in intensive cracking and spalling phenomena. The loss of the protective concrete cover significantly accelerates the heating of steel elements and shear connectors, further aggravating the disruption of composite action and contributing to a rapid reduction in the fire resistance of the structure (Martinez & Jeffers, 2021b; Li et al., 2023; Zhang et al., 2025; Long et al., 2024; Wang et al., 2025). Typical forms of concrete damage under high-temperature exposure are shown in Figure 4.



**Figure 4.** Strength degradation of steel and concrete with increasing temperature

*Note – compiled by the authors*

A pronounced temperature gradient across the cross-section—resulting from rapid heating of the lower steel component and slower heating of the concrete—leads to curvature of the element and the development of additional bending moments, which often exceed those caused by service loads. In statically indeterminate systems, this effect gives rise to significant self-equilibrated thermal stresses and contributes to an accelerated reduction in load-bearing capacity. Similar tendencies are also reported for localized and natural fire scenarios in restrained composite systems (Drury & Quiel, 2023; Peng & Zhou, 2023).

At the same time, the results of recent experimental and numerical studies indicate that the fundamental mechanisms of composite interaction between steel and concrete remain of decisive importance when analyzing the behavior of steel-reinforced concrete structures under fire conditions. Even under substantial degradation of the mechanical properties of materials, temperature-induced deformations, interaction at the steel–concrete interface, and the performance of shear connectors continue to play a governing role in determining the load-bearing capacity and stability of composite elements (Bolina et al., 2021; Martinez & Jeffers, 2021a; Ding et al., 2023; Yang, W. et al., 2023). These findings are in agreement with contemporary performance-based approaches to the fire design of composite structures (Gernay & Elhami Khorasani, 2020).

### *Temperature-induced stresses and their influence on SRC elements*

Axial temperature-induced stresses arise in steel-reinforced concrete structures when free thermal expansion or contraction of an element is restrained by supports, rigid connections, or monolithic segments. Because steel has a higher coefficient of linear thermal expansion than concrete, composite action under temperature changes leads to the development of internal forces: the steel component tends to expand to a greater extent, while the concrete restrains this deformation. As a result, axial temperature stresses of opposite sign are formed within the components of the composite cross-section, as reported in studies on the thermal stress behavior of steel-reinforced concrete elements (Zhang et al., 2020; Bai et al., 2023).

In statically indeterminate systems, such stresses may reach significant magnitudes, since the structure has limited ability to accommodate thermal actions through changes in shape or redistribution of deformations. Under these conditions, axial temperature-induced forces become one of the governing factors in structural analysis, exerting a substantial influence on the distribution of internal forces and potentially reducing the available load-bearing capacity. The consideration of axial temperature stresses is particularly important under large temperature variations and in cases of non-uniform heating along the length of an element, as confirmed by numerical and analytical studies of composite systems (Fan et al., 2022).

The calculation of temperature-induced deformations and the corresponding axial stresses in the present study was performed under the assumption of full composite action between steel and concrete, with no slip at the interface, equality of longitudinal strains of the composite cross-section components, and the absence of external axial force. The temperature field along the length of the element was assumed to be uniform, and the material behavior was considered within the elastic deformation range. These assumptions are consistent with those commonly adopted in scientific studies addressing temperature-induced internal forces in steel-reinforced concrete structures (Zhu et al., 2020).

For the calculation, the following data were adopted:

Coefficients of linear thermal expansion:

- steel –  $\alpha_s = 12 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ ;

- concrete –  $\alpha_c = 10 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ .

Elastic moduli:

- steel –  $E_s = 200000 \text{ MPa}$ ;

- concrete –  $E_c = 30000 \text{ MPa}$ .

Relative cross-sectional areas:

- steel –  $A_s = 0,1$ ;

- concrete –  $A_c = 0,9$ .

Temperature variation range:

-  $\Delta T = -40 \dots + 60^\circ\text{C}$

The free thermal strains of steel and concrete are determined according to:

$$\varepsilon_{free} = \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

Accordingly, the following expressions are obtained:

-for steel –  $\varepsilon_{free} = \alpha_s \cdot \Delta T$

-for concrete –  $\varepsilon_{free} = \alpha_c \cdot \Delta T$

The difference in free thermal strains is defined as:

$$\Delta\varepsilon_{free} = \varepsilon_{s,free} - \varepsilon_{c,free} \quad (2)$$

Due to full composite action, the actual longitudinal strain of the element is identical for steel and concrete:  $\varepsilon_s = \varepsilon_c = \varepsilon$ .

In the absence of an external axial force, the equilibrium condition is expressed as:

$$N_s + N_c = 0 \quad (3)$$

where the axial forces in the materials are defined as:

$$N_s = \sigma_s \cdot A_s, N_c = \sigma_c \cdot A_c \quad (4)$$

The stress-strain relationships are written as:

$$\sigma_s = E_s(\varepsilon - \varepsilon_{s,free}), \sigma_c = E_c(\varepsilon - \varepsilon_{c,free}) \quad (5)$$

Substitution into the equilibrium equation yields the expression for the common longitudinal strain of the composite cross-section:

$$\varepsilon = \frac{A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s,free} + A_c \cdot E_c \cdot \varepsilon_{c,free}}{A_s \cdot E_s + A_c \cdot E_c} \quad (6)$$

After determining  $\varepsilon$  the temperature-induced stresses in steel and concrete are calculated using the above expressions.

The results of the calculation of free thermal strains and self-equilibrated temperature stresses are presented in Table 1.

**Table 1.** Modeling of axial temperature-induced deformations and stresses

$\Delta T$ (°C)	$\Delta \varepsilon_{s,free}$ ( $\times 10^{-5}$ )	$\Delta \varepsilon_{c,free}$ ( $\times 10^{-5}$ )	$\Delta \varepsilon_{free}$ ( $\times 10^{-5}$ )	$\sigma_s$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)
-40	-48.0	-40.0	-8.0	9.19	-1.02
-20	-24.0	-20.0	-4.0	4.6	-0.51
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
+20	+24.0	+20.0	+4.0	-4.6	0.51
+40	+48.0	+40.0	+8.0	-9.19	1.02
+60	+72.0	+60.0	+12.0	-13.79	1.53

*Note – compiled by the authors*

The presented results indicate that, in the presence of a nonzero difference between the coefficients of thermal expansion of steel and concrete, self-equilibrated temperature-induced stresses develop under conditions of composite action. The magnitude of these stresses increases proportionally with the temperature change. During heating, compressive stresses are generated in the steel component, while tensile stresses develop in the concrete; during cooling, the stress pattern is reversed.

The obtained values demonstrate that, within the adopted assumptions and calculation framework, temperature-induced stresses may reach engineering-significant levels comparable to those caused by service loads. This observation is consistent with the findings of numerous analytical and numerical studies and indicates that such stresses should be explicitly considered in the analysis and design of steel-reinforced concrete elements.

#### **Bending moments induced by temperature gradients**

Temperature gradients across the depth of a steel-reinforced concrete element lead to non-uniform deformations of the steel and concrete components of the cross-section. When the lower zone is heated more intensively than the upper zone (or under the reverse temperature distribution), curvature of the element occurs, which in its mechanical nature is analogous to the action of a distributed load. As a result of such a non-uniform temperature field, inherent bending moments develop within the composite cross-section. These moments arise even in the absence of external forces and govern an additional stress state of the structure, as confirmed by analytical and numerical studies on temperature-induced bending of steel-reinforced concrete elements (Zhang et al., 2020).

A steel-reinforced concrete element with full composite action between steel and concrete (composite cross-section) is considered.

The coefficients of linear thermal expansion are assumed as follows:

- steel -  $\alpha_s = 12 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ ;

- concrete -  $\alpha_c = 10 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$

The difference between the coefficients is:

$$\Delta\alpha = \alpha_s - \alpha_c = 2 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

The effective lever arm between the “characteristic” fibers of steel and concrete (conventionally taken as the distance between the centroids of deformation) is assumed as:  $h_0 = 0,3m$

The effective bending stiffness of the composite element is taken as:

$$(EI)_{eff} = 1,35 \cdot 10^8 N \cdot m^2$$

A temperature gradient across the depth of the cross-section,  $\Delta T$ , induces different thermal deformations in the steel and concrete components.

The cross-sectional temperature gradient scheme (gradient along the depth) is defined as follows:

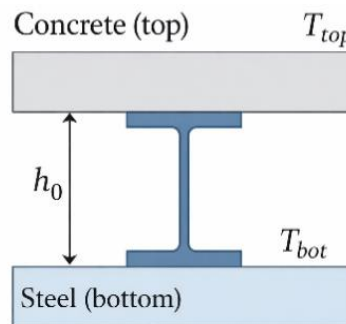
- upper zone temperature:  $T_{top}$

- lower zone temperature:  $T_{bot}$

The temperature gradient is expressed as:

$$\Delta T = T_{bot} - T_{top} \quad (7)$$

When the lower zone is warmer than the upper one, the element tends to bend downward (Figure 5).



**Figure 5.** Calculation scheme of the temperature gradient across the depth of a steel-reinforced concrete cross-section

*Note – compiled by the authors*

Determination of the difference in thermal strains

Thermal strain of a material:

$$\varepsilon_T = \alpha \cdot \Delta T \quad (8)$$

Difference between the thermal strains of steel and concrete:

$$\Delta\varepsilon = (\alpha_s - \alpha_c) \cdot \Delta T = \Delta\alpha \cdot \Delta T \quad (9)$$

If steel and concrete are connected (i.e., the shear connectors are effective), forced compatibility of deformations arises, which manifests itself in the form of curvature:

$$\kappa_T = \frac{\Delta\varepsilon}{h_0} = \frac{(\alpha_s - \alpha_c) \cdot \Delta T}{h_0} \quad (10)$$

A notional temperature-induced moment is introduced as a moment that produces the same curvature in the composite element:

$$M_T = (EI)_{eff} \cdot \kappa_T \quad (11)$$

By substituting the expressions, the following relation is obtained:

$$M_T = (EI)_{eff} \cdot \frac{\Delta\alpha \cdot \Delta T}{h_0} \quad (12)$$

Final convenient formula:

$$M_T = 0,9 \cdot \Delta T(^{\circ}C), \Delta\varepsilon = 2 \times 10^{-6} \cdot \Delta T \quad (13)$$

The calculation results are presented in Table 2.

**Table 2.** Example of temperature-induced bending moments for a cross-sectional temperature gradient  $\Delta T$

$\Delta T$ across the cross-section ( $^{\circ}C$ )	Difference in thermal strains ( $\times 10^{-5}$ )	Notional bending moment ( $M_T$ ) ( $kN \cdot m$ )	Deformation pattern
10	2.0	9	lower zone warmer
20	4.0	18	pronounced curvature
30	6.0	27	noticeable moments at supports
40	8.0	36	moments comparable to service loads
60	12.0	54	critical level

*Note – compiled by the authors*

The analysis of the calculation results presented in Table 2 shows that an increase in the temperature gradient across the depth of a steel-reinforced concrete cross-section leads to an almost linear growth of the difference in thermal strains and, as a consequence, to an increase in the notional temperature-induced bending moments. Even at temperature gradient values of about  $\Delta T = 20 - 30^{\circ}C$  temperature-induced moments are formed whose magnitudes become comparable to those caused by service loads, while at  $\Delta T \geq 40 - 60^{\circ}C$  the calculated values reach levels that may be considered potentially critical for the normal performance of the composite element.

The obtained relationships confirm that, under non-uniform temperature fields across the cross-section, temperature-induced curvature of an element may exert a governing influence on its stress-strain state, especially under conditions of restrained deformability. The deformation patterns presented in Table 2 indicate a transition from weakly expressed curvature at small temperature gradients to significant temperature-induced bending moments in support zones and joints under more intensive heating. This observation is consistent with the results of analytical and numerical studies on temperature-induced bending of steel-reinforced concrete structures.

Comparison of the obtained calculation results with the data reported in previous studies (Zhang et al., 2020; Bai et al., 2023; Zhu et al., 2020) demonstrates both qualitative and quantitative agreement in the growth pattern of temperature-induced bending moments with increasing temperature gradient across the cross-section. Similar levels of temperature-induced bending moments and comparable patterns in the development of thermal curvature of elements have also been reported in the literature, where it is shown that, in statically indeterminate systems, temperature-induced bending moments may reach magnitudes comparable to those caused by service loads and, in some cases, may exceed them (Fan et al., 2022; Zhou et al., 2020; Huang et al., 2023).

Thus, the performed analysis confirms the conclusions of recent studies regarding the necessity of explicitly accounting for temperature gradients across the cross-section in the analysis of steel-reinforced concrete elements. Such consideration is particularly critical for statically indeterminate systems, in which thermal curvature is restrained by supports and fixities. This restraint leads to redistribution of internal forces in supports, beams, and connection zones and may be accompanied by a reduction in the available load-bearing capacity of the structure.

### Transverse shear stresses

Transverse shear stresses arising in the steel–concrete connector zone represent one of the most vulnerable aspects of the structural behavior of steel-reinforced concrete structures under temperature actions. They are particularly critical in the presence of a temperature difference across the depth of the cross-section, which leads to relative displacement between the steel and concrete components. Because the steel and concrete parts experience different temperature-induced deformations, significant shear forces develop in the region of the studs, which are transferred and resisted by the shear connectors.

The difference in temperature-induced deformations of steel and concrete is determined according to Equation (8).

The evaluation of relative slip between steel and concrete is determined by the following expression:

$$\delta = \Delta\varepsilon \cdot \frac{p}{2} \quad (14)$$

where,  $p$  – spacing of shear studs (anchors);

$\delta$  – relative slip, mm.

The shear force in a single stud is determined as:

$$F = K \cdot \delta \quad (15)$$

where,  $K$  – stiffness of the steel–concrete connection per single stud.

The utilization factor of the load-bearing capacity of a stud is defined as:

$$\eta = \frac{F}{R} \quad (16)$$

where,  $R$  – design load-bearing capacity of a single stud.

The resulting calculation chain (in compact form) can be written as:

$$\eta = \frac{K}{R} \cdot ((\alpha_s - \alpha_c)\Delta T \cdot \frac{p}{2}) \quad (17)$$

For an illustrative assessment of temperature-induced shear in the steel–concrete interface zone, conditionally representative parameters were adopted. These parameters are widely used in studies on the behavior of shear connectors and are consistent with the values applied in a number of experimental and numerical investigations. The spacing of shear studs was taken as  $p = 100$  mm, which is typical for steel-reinforced concrete beams and floor systems with full or nearly full composite action. The stiffness of a single shear connector was assumed as  $K = 50$  kN/mm, corresponding to the elastic stage of stud behavior. The design load-bearing capacity of a single stud was taken as  $R = 81,7$  kN under normal temperature conditions and  $P_{fi}, Rd \approx 7,1$  kN under fire exposure, in accordance with data reported in normative documents and scientific literature. The adopted parameters make it possible to reproduce the results presented in Table 3 and are used exclusively to demonstrate the influence of temperature actions on the behavior of the steel–concrete connection zone.

**Table 3.** Calculation of temperature-induced shear

Scenario	$\Delta T$ across steel–concrete interface, °C	$\Delta\varepsilon, (\times 10^{-6})$	Slip estimation $\delta$ , mm	Shear force in one stud $F$ , kN	Stud resistance $R$ , kN	Utilization factor $\eta$
Summer heating from below (non-uniform)	40	80	0.008	0.40	81.7	0.005
Winter cooling from above (non-uniform)	30	60	0.006	0.30	81.7	0.004
Fire exposure	300	600	0.060	3.00	$P_{fi}, Rd \approx 7.1$	0.42

Note – compiled by the authors

The calculation results presented in Table 3 indicate that an increase in the temperature difference between the steel and concrete components of a steel-reinforced concrete element leads to higher relative thermal deformations and the development of transverse shear displacements in the steel–concrete interface zone. Under climatic scenarios (summer heating and winter cooling), the calculated shear forces remain significantly below the load-bearing capacity of the stud connectors, which corresponds to low utilization factors.

Under fire exposure, characterized by steep and localized temperature gradients, relative slip and shear forces in the connectors increase by an order of magnitude, and the utilization factor approaches its limiting values. This behavior indicates that the connectors operate in a near-ultimate state and confirms their governing role in ensuring composite action of steel-reinforced concrete structures under severe thermal actions. These findings are consistent with the results of experimental and numerical studies reported in the literature (Zhu et al., 2020; Fan et al., 2022; Bolina et al., 2021).

### CONCLUSIONS

1. Within the framework of the conducted review and analytical study, a comprehensive analysis of published scientific works devoted to the influence of temperature actions on the behavior of steel-reinforced concrete structures was performed. Generalization of analytical, experimental, and numerical research results shows that temperature effects are not limited to the role of secondary service actions and, in a number of cases, should be regarded as a significant factor affecting the stress–strain state, redistribution of internal forces, and overall reliability of composite elements. Differences in the thermophysical properties of steel and concrete lead to the development of additional temperature-induced deformations and self-equilibrated stresses, which must be considered in the analysis and design of steel-reinforced concrete structures.

2. The analysis of contemporary studies demonstrates that axial temperature deformations, when free thermal expansion is restrained, may result in the development of additional axial forces in steel-reinforced concrete elements, especially in statically indeterminate systems. Under such conditions, temperature-induced stresses can make a noticeable contribution to the overall stress state of the structure, highlighting the necessity of their inclusion in calculation models alongside conventional service loads.

3. Generalization of studies addressing the influence of temperature gradients across the depth of the cross-section shows that non-uniform heating or cooling of steel-reinforced concrete elements leads to the occurrence of inherent temperature-induced bending effects. These effects may develop even in the absence of external loading and, in certain structural configurations, exert a significant influence on stiffness, stability, and force distribution within the structure. Under intensive climatic and fire actions, temperature-induced bending effects require mandatory consideration in the analysis of statically indeterminate systems.

4. The review of published research indicates that shear connectors in the steel–concrete interface are considered in many studies as one of the most vulnerable components of steel-reinforced concrete structures under temperature actions. Temperature differences across the cross-section may cause relative longitudinal and transverse displacements between the steel and concrete components, leading to increased shear forces in the connecting elements. Under cyclic temperature variations, such actions may, according to the literature, contribute to fatigue-related strength degradation of studs and deterioration of bond in the interface zone.

5. Analysis of published experimental and numerical investigations shows that under fire exposure temperature effects are generally intensified due to a sharp reduction in the strength and deformation properties of steel and degradation of concrete performance. The development of steep temperature gradients, cracking of the concrete component, and reduction in the load-bearing capacity of connectors may, in certain adverse scenarios, lead to partial or complete loss



of composite action and transition of the structure to a non-composite behavior mode, accompanied by a substantial reduction in stiffness and load-bearing capacity.

The conducted review emphasizes the importance of performing the analysis of steel-reinforced concrete structures with comprehensive consideration of temperature actions based on modern scientific research addressing temperature-induced stress-strain behavior, the influence of temperature gradients, and the performance of connecting elements under climatic and fire exposure (Zhang et al., 2020; Bai et al., 2023; Fan et al., 2022; Bolina et al., 2021; Zhou et al., 2020; Huang et al., 2023; Peng & Zhou, 2023; Liu et al., 2022). The design of such structures requires temperature deformations, temperature gradients, the behavior of shear connectors, and potential accidental thermal actions to be treated as essential components of the calculation model. This statement is particularly relevant for performance-based fire assessment of composite systems and for modern structural forms such as castellated beams, prefabricated composite members, and composite walls (Gernay & Elhami Khorasani, 2020; Li et al., 2023; Zhang et al., 2025; Long et al., 2024; Wang et al., 2025).

The scientific novelty of the study lies in the systematization of mechanisms governing the formation of temperature-induced deformations, axial and transverse stresses in steel-reinforced concrete elements, as well as in substantiating the significant role of connecting elements in ensuring reliable composite action under temperature effects. The generalized conclusions obtained may serve as a methodological basis for further theoretical, analytical, and experimental research. Future research perspectives are associated with the development of refined calculation models for temperature-induced internal forces, experimental investigation of the behavior of shear connectors under cyclic thermal and fire exposure, and extension of the analysis to various structural systems and climatic service conditions of steel-reinforced concrete structures.

Future research perspectives are associated with the development of refined calculation models for temperature-induced internal forces, experimental investigation of the behavior of shear connectors under cyclic thermal and fire exposure, and extension of the analysis to various structural systems and climatic service conditions of steel-reinforced concrete structures.

**CONFLICT OF INTEREST:** The authors declare that they have no financial, academic, or personal interests that could have influenced the results of this study. All stages of the work were carried out objectively, without external influence.

**FUNDING:** This research was conducted without external funding. The analysis, data collection, and manuscript preparation were carried out by the authors within the framework of their academic and research activities.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The authors express their sincere gratitude to colleagues for their constructive comments, assistance in refining methodological approaches, and discussion of the research results.

**AI USAGE STATEMENT:** During the preparation of this article, the authors used generative artificial intelligence tools solely for text editing, structuring of materials, and refinement of wording. All interpretations, conclusions, scientific statements, and research results fully belong to the authors.

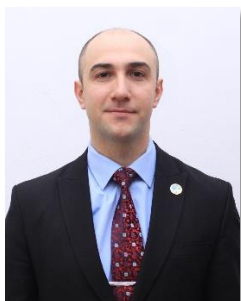
## REFERENCES

- Bai, Y., Liu, Y., Liu, J., Sun, L., Ma, Z. (2023). Temperature gradient of composite PK girder based on monitoring and long-term simulation. *Structures*, 57, 105214. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105214>
- Zhang, Y., Chu, Y., He, J., Xin, H. (2024). Prediction of temperature zoning for steel-concrete composite beams based on meteorological parameters in China. *Structures*, 61, 105982. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.105982>

- Zhang, C., Liu, Y., Liu, J., Yuan, Z., Zhang, G., Ma, Z. (2020). Validation of long-term temperature simulations in a steel–concrete composite girder. *Structures*, 27, 1962–1976. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.07.070>
- Zhang, Y., Liu, J., Fan, J.-S., Li, B.-L., Liu, Y.-F. (2023). Time-varying solar radiation-induced non-uniform temperature distribution of steel–concrete composite box girder–ballastless track system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 43, 102750. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102750>
- Zhou, M., Fan, J.-S., Liu, Y.-F., et al. (2020). Non-uniform temperature field of large-span steel structures. *Automation in Construction*, 119, 103339. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103339>
- Huang, S., Cai, C., He, X., Li, C. (2023). Temperature field under solar radiation. *Engineering Structures*, 291, 116419. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116419>
- Li, H., Zhang, Z., Deng, N. (2021). Temperature field and gradient effect of composite box girder. *Advances in Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/9901801>
- Fan, J.-S., Li, B.-L., Liu, C., Liu, Y.-F. (2022). Simulation of temperature field of composite beams. *Structures*, 43, 1868–1880. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.05.079>
- Mansour, D.M., Ebid, A.M. (2023). Modeling of heat transfer in massive concrete foundations. *Civil Engineering Journal*, 9(10). <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-10-05>
- Sheng, X., et al. (2020). Study on the time-varying temperature field of small radius curved concrete box girder bridges. *AIP Advances*, 10(10). <https://doi.org/10.1063/1.5133992>
- Zhu, Q.-X., et al. (2020). Investigation of temperature effects on steel-truss bridge based on long-term monitoring data: Case study. *Journal of Bridge Engineering*, 25(9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001593](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001593)
- Bolina, F., Tutikian, B., Rodrigues, J.P.C. (2021). Thermal analysis of steel decking concrete slabs in case of fire. *Fire Safety Journal*, 121, 103295. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103295>
- Ding, F., Wang, W., Jiang, B. (2023). Numerical study on the fire behaviour of restrained steel–concrete composite beams. *Journal of Building Engineering*, 70, 106358. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106358>
- Zhang, Z., Liu, J., Shi, G., Li, W., Wang, C. (2025). Study on the fire resistance of castellated composite beams with semi-rigid restraints. *Buildings*, 15(7), 1016. <https://doi.org/10.3390/buildings15071016>
- Long, J., Wang, Y., Yang, T. (2024). Static and fire behavior of prefabricated composite beams with reserved grout holes. *Journal of Structural Engineering*, 151(3). <https://doi.org/10.1061/JSENDH.STENG-14176>
- Drury, M.M., Quiel, S.E. (2023). Standard versus natural fire resistance for partially restrained composite floor beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 202, 107768. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107768>
- Yang, W., Yang, Y., Chen, Y.F. (2023). Fire experiment and fire design method of U-shaped steel–concrete composite beams. *Advances in Structural Engineering*, 27(2). <https://doi.org/10.1177/13694332231218761>
- Gernay, T., Elhami Khorasani, N. (2020). Recommendations for performance-based fire design of composite steel buildings using computational analysis. *Journal of Constructional Steel Research*, 166, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.105906>
- Peng, X., Zhou, M. (2023). Thermo-mechanical behavior under localized fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 211, 108180. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2023.108180>
- Martinez, J., Jeffers, A.E. (2021a). Analysis of restrained composite beams exposed to fire. *Engineering Structures*, 234, 111740. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111740>
- Martinez, J., Jeffers, A.E. (2021b). Structural response under traveling fires. *Journal of Constructional Steel Research*, 186, 106926. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106926>

- Wang, Y., Khan, M., Yu, B., et al. (2025). Steel–concrete composite walls in fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 227, 109408. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2025.109408>
- Mansilla, R., Espinós, A., Odenbreit, C., Payá-Zaforteza, I., Romero, M.L. (2024). Elevated temperature behaviour of demountable shear connectors. *Structures*, 59, 105810. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105810>
- Maliji, E., Yousefpour, H. (2023). Postfire strength of channel-type shear connectors. *Journal of Structural Engineering*, 149(10). <https://doi.org/10.1061/JSENDH.STENG-12469>
- Li, J., Zhu, C., Li, R., Bai, L., Wang, Z. (2023). Fire resistance of castellated composite beams. *Steel and Composite Structures*, 46(4), 539–551. <https://doi.org/10.12989/scs.2023.46.4.539>
- Ding, Y., Chung, K.F., Elghazouli, A.Y., et al. (2025). Bolted shear connections. *Engineering Structures*, 322, 119002. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.119002>
- Zhang, P.J., Wang, C.S., Wu, G.S., Wang, Y. (2022). Temperature gradient models of steel–concrete composite girder. *Journal of Constructional Steel Research*, 194, 107309. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107309>
- Yang, B., Zhao, D., Wang, G. (2025). Calculation of standard temperature differences. *Advances in Structural Engineering*, 28(15). <https://doi.org/10.1177/13694332251353602>
- Yang, J., Tan, L., Qi, X., Zhang, C. (2023). Thermo-mechanical behaviour under temperature–load coupling. *Frontiers in Materials*, 10, 01-13. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1284928>
- Liu, J., Zhang, Y., Tan, K. (2022). Composite beam–slab system at elevated temperature. *Journal of Constructional Steel Research*, 188, 107027. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.107027>

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Брянцев Александр Александрович** – Бас директор, «Ras Engineering» ғылыми-зерттеу институты; PhD, құрылыс мектебінің профессоры, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

**Брянцев Александр Александрович** – Генеральный директор, Научно-исследовательский институт «RAS Engineering»; PhD, профессор школы строительства, Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

**Bryantsev Alexandr Alexandrovich** – CEO, Scientific research institute «RAS Engineering»; PhD, professor, School of Construction, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [assadenova@edu.ektu.kz](mailto:assadenova@edu.ektu.kz), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4052-8830>,



**Төлебай Сағын Мұратұлы** – магистрант, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

**Төлебай Сағын Муратулы** – магистрант, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

**Tolebay Sagyn Muratuly** – Master's student, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan. e-mail: [tolebays02@mail.ru](mailto:tolebays02@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1310-3772>



**Остапенко Инна Ивановна** – PhD, архитектура мектебінің ассоцияланған профессоры, Халықаралық Білім Беру Корпорациясы; Аға ғылыми қызметкер, «Ras Engineering» ғылыми-зерттеу институты, Алматы қ., Қазақстан

**Остапенко Инна Ивановна** – PhD, ассоциированный профессор школы архитектуры, Международная Образовательная Корпорация; Старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт «RAS Engineering», г. Алматы, Казахстан

**Ostapenko Inna Ivanovna** – PhD, Associate Professor, School of Architecture, International Educational Corporation;

Senior Researcher, Scientific research institute «RAS Engineering»,  
Almaty, Kazakhstan,

e-mail: [ostapinna@mail.ru](mailto:ostapinna@mail.ru),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7253-7251>,



**Буханцева Анна Евгеньевна** – PhD докторант, оқытушы, «Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті», Өскемен қ., Қазақстан

**Буханцева Анна Евгеньевна** – PhD докторант преподаватель, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан.

**Bukhantseva Anna Evgenyevna** – PhD student, Lecturer, «D.Serikbayev East Kazakhstan technical university», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: [abukhantceva@edu.ektu.kz](mailto:abukhantceva@edu.ektu.kz)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1182-4203>








[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_5](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_5)

МРНТИ 67.11.59

## ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНОВОЙ РАССТАНОВКИ НЕСУЩИХ СТЕН В МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЁСТНО-СТЕНОВЫХ ЗДАНИЯХ С ГИБКИМ ПЕРВЫМ ЭТАЖОМ

## ИКЕМДІ БІРІНШІ ҚАБАТЫ БАР МОНОЛИТТІ АЙҚАС ҚАБЫРҒАЛЫ ФИМАРАТТАРДАҒЫ КӨТЕРГІШ ҚАБЫРҒАЛАРДЫҢ ЖОСПАРДАҒЫ ОРНАЛАСУЫН ПАРАМЕТРЛІК ЗЕРТТЕУ

## PARAMETRIC STUDY OF THE PLAN LAYOUT OF LOAD-BEARING WALLS IN MONOLITHIC CROSS-WALL BUILDINGS WITH A FLEXIBLE FIRST STOREY

А.А. Брянцев <sup>1,2\*</sup>, Д. Болат <sup>2</sup>, И.И. Остапенко <sup>1,2\*</sup>, Д.Г. Дюсенова <sup>2</sup>,  
А.Е. Буханцева <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт «RAS Engineering», г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

\*Автор-корреспондент: Остапенко Инна Ивановна, e-mail: Ostopinna@mail.ru

### Ключевые слова:

Гибкий этаж,  
перекрестно-стенная  
система, сейсмический  
расчет, ЛИРА-САПР,  
спектральный метод,  
регулярность в плане,  
этажные перемещения,  
этажные усилия.

### АННОТАЦИЯ

Исследование посвящено численной оценке влияния плановой расстановки несущих стен на сейсмический отклик монолитного железобетонного здания перекрёстно-стенной системы с гибким первым этажом, характерным для жилых зданий в сейсмоопасных районах Республики Казахстан. Выполнено пространственное моделирование здания V1+G+5 в программном комплексе ЛИРА-САПР 2024 с использованием спектрального метода расчёта для условий сейсмичности 7, 8 и 9 баллов. Рассмотрены четыре расчётные модели, различающиеся долей наружных продольных стен в направлении оси X (0, 20, 40 и 60 %) при неизменных геометрических, конструктивных и материальных параметрах, включая наличие гибкого первого этажа. Анализ выполнен по максимальным горизонтальным перемещениям, показателям регулярности в плане, этажными сдвигающим усилиям и распределению этажной жёсткости. Установлено, что увеличение доли продольных стен способствует снижению горизонтальных перемещений и крутильной составляющей отклика, повышению регулярности здания в плане и изменению характера распределения усилий по высоте. Показана определяющая роль рациональной компоновки несущих стен в обеспечении сейсмостойкости перекрёстно-стенных зданий с гибким первым этажом.

### Түйінді сөздер:

Жұмсақ қабат, қиы-  
лысқан қабырғалы жүйе,

### ТҮЙІНДЕМЕ

Зерттеу Қазақстан Республикасының сейсмикалық қауіпті аймақта-  
рындағы тұрғын үйлерге тән икемді бірінші қабаты бар монолитті



сейсмикалық есеп,  
ЛИРА-САПР, спектрлік  
әдіс, жоспардағы  
регулярлық, қабаттық  
орын ауыстыру,  
қабаттық күштер.

темірбетонды айқас-қабырғалы жүйедегі ғимараттың сейсмикалық әсерге жауабына көтеруші қабырғалардың жоспардағы орналасуының ықпалын сандық бағалауға арналған. B1+G+5 ғимаратының кеністіктік моделі ЛИРА-САПР 2024 бағдарламалық кешенінде 7, 8 және 9 баллдық сейсмикалық жағдайлары үшін спектрлік есептеу әдісін қолдана отырып орындалды. Икемді бірінші қабаттың болуын қоса алғанда, геометриялық, конструктивтік және материалдық параметрлері өзгеріссіз сақталған жағдайда, X осі бағыты бойынша сыртқы бойлық қабырғалардың үлесімен (0, 20, 40 және 60 %) ерекшеленетін төрт есептік модель қарастырылды. Талдау максимум көлденең орын ауыстырулар, жоспардағы тұрақтылық көрсеткіштері, қабаттық ығыстырушы күштер және қабаттық қаттылықтың таралуы бойынша жүргізілді. Бойлық қабырғалардың үлесін арттыру көлденең орын ауыстырулардың және жауаптың бұралу құрамдасының азаюына, ғимараттың жоспардағы тұрақтылығының артуына және күштердің биіктік бойынша таралу сипатының өзгеруіне ықпал ететіні анықталды. Икемді бірінші қабаты бар айқас-қабырғалы ғимараттардың сейсмотұрақтылығын қамтамасыз етуде көтеруші қабырғаларды ұтымды орналастырудың айқындаушы рөлі көрсетілді.

---

**keywords:**

Soft storey, cross-wall system, seismic analysis, LIRA-SAPR, response spectrum method, in-plan regularity, storey displacement, storey shear.

---

**ABSTRACT**

The study is devoted to a numerical assessment of the influence of the plan layout of load-bearing walls on the seismic response of a monolithic reinforced concrete cross-wall structural system building with a flexible first story, which is typical of residential buildings in seismic regions of the Republic of Kazakhstan. A three-dimensional model of a B1+G+5 building was developed in LIRA-SAPR 2024 using the response spectrum method for seismic intensities of 7, 8, and 9 points. Four analytical models were considered, differing in the share of exterior longitudinal walls along the X-axis direction (0, 20, 40, and 60%), while keeping the geometric, structural, and material parameters unchanged, including the presence of a flexible first story. The analysis was carried out in terms of maximum horizontal displacements, plan regularity indicators, story shear forces, and the distribution of story stiffness. It was established that an increase in the share of longitudinal walls contributes to a reduction in horizontal displacements and the torsional component of the response, improves the plan regularity of the building, and changes the pattern of force distribution over the height. The decisive role of the rational arrangement of load-bearing walls in ensuring the seismic resistance of cross-wall buildings with a flexible first story is demonstrated.

---

**ВВЕДЕНИЕ**

Обеспечение сейсмической безопасности зданий на стадии проектирования требует обязательной проверки вертикальной регулярности и выявления потенциальных гибких этажей, поскольку локальное снижение боковой жесткости или прочности одного уровня формирует критические зоны концентрации деформаций при динамическом воздействии. Современные постсейсмические обследования и аналитические отчеты подтверждают, что такое снижение жесткости приводит к резкому росту межэтажных перемещений в зоне нерегулярности и повышает вероятность формирования механизма разрушения типа *soft storey* и прогрессирующего обрушения (EERI, 2023; FEMA, 2015).

Актуальность проблемы подтверждается опытом разрушительных землетрясений последних лет. Землетрясения в Турции и Сирии в феврале 2023 года продемонстрировали масштабные последствия сочетания высокой сейсмической интенсивности и



конструктивных уязвимостей зданий; среди характерных причин обрушений отмечались недостаточная жесткость нижних этажей и отступления от принципов сейсмостойкого проектирования и строительства (USGS, 2023; University of Cambridge, 2024; Boğaziçi University Kandilli Observatory, 2023). Опыт Турции 2023 года подтвердил выводы более ранних исследований о том, что наличие гибкого этажа существенно увеличивает сейсмическую уязвимость зданий независимо от этажности и материала конструкций. Численные и экспериментальные работы показывают, что снижение жесткости одного уровня вызывает резкий рост межэтажного перемещения именно в этой зоне, формируя пластический механизм и ускоряя разрушение вертикальных несущих элементов (Tena-Colunga et al., 2008). Таким образом, проверка вертикальной регулярности и перераспределения жесткости по высоте здания должна рассматриваться как ключевой критерий сейсмостойкости современных сооружений.

В контексте Казахстана проблема оценки сейсмических рисков остается одной из наиболее актуальных задач инженерной практики. Согласно доступным оценкам, сейсмоопасные районы охватывают значительную долю территории страны; исторические сведения указывают на регистрацию в юго-восточных регионах землетрясений с интенсивностью до 8-10 баллов по шкале MSK-64. Прогнозные оценки также указывают на вероятность сильных сейсмических событий в южных и юго-восточных регионах, включая Алматы и Шымкент, где сосредоточены значительные объемы жилищного строительства (Sabekov S., 2023).

Особое внимание в условиях Казахстана следует уделять жилым зданиям, возводимым по перекрестно-стеновой конструктивной системе. Сейсмическая устойчивость таких сооружений в значительной степени обеспечивается железобетонными стенами, работающими как пространственные диафрагмы. При этом уменьшение количества стен на одном уровне (например, из-за парковок, высоких коммерческих помещений или архитектурных изменений) способно вызвать резкое снижение боковой жесткости и формирование выраженной вертикальной нерегулярности. В отличие от рамных систем, где перераспределение деформаций происходит преимущественно через работу колонн и ригелей, в стеновых и перекрестно-стеновых схемах локальное ослабление одного этажа может привести к концентрации межэтажных деформаций и развитию механизма гибкого этажа даже при достаточной общей жесткости здания.

Дополнительную сложность представляет плановая неоднородность стен, характерная для современных монолитных жилых зданий: стены могут располагаться несимметрично, иметь различную протяженность и объединяться в связанные стеновые системы. В связи с этим выбор рациональной схемы расстановки стен в плане становится ключевым фактором обеспечения сейсмической безопасности и ограничения торсионной составляющей отклика.

В работе для указания этажности используется международное обозначение B1+G+5, где B1 (Basement 1) – один подземный этаж, G (Ground floor) – первый надземный этаж (уровень земли), а +5 – пять последующих надземных этажей. Таким образом, рассматриваемое здание имеет 6 надземных этажей и 1 подземный.

Анализ научной литературы показывает, что проблема гибкого этажа наиболее полно исследована применительно к железобетонным рамным системам, тогда как для перекрестно-стеновых систем вопросы влияния вариантов плановой расстановки стен и их пространственной связности на торсионный отклик и регулярность в плане представлены существенно меньше. Новизна настоящего исследования заключается в рассмотрении проблемы гибкого этажа применительно к перекрестно-стеновым системам с параметрическим варьированием плановой компоновки стен, что позволяет сформировать практические выводы для проектирования жилых зданий в сейсмоопасных районах Казахстана.

В настоящей работе в качестве объекта исследования принято типовое монолитное железобетонное жилое здание-прототип перекрестно-стеновой системы с гибким первым этажом.

Цель исследования — численно оценить влияние плановой расстановки (доли) несущих стен на сейсмический отклик монолитного железобетонного здания перекрестно-стеновой системы при наличии гибкого первого этажа для условий сейсмичности 7, 8 и 9 баллов.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Сформировать пространственные расчетные модели здания при неизменных геометрических и материальных характеристиках и различной доле наружных продольных стен в одном из главных направлений;

2. Выполнить спектральный расчет сейсмических воздействий в программном комплексе ЛИРА-САПР по данным СП РК EN 1998-1:2004/2012 (2017);

3. Сопоставить варианты по максимальным горизонтальным перемещениям, показателю регулярности в плане, этажным сдвигающим усилиям и этажной жесткости (НТП РК-08-01.2-2021, 2024);

4. Установить закономерности влияния компоновки стен на поступательную и торсионную составляющие отклика и на распределение усилий по высоте.

*Литературный обзор*

*Определение гибкого этажа и нормативные критерии*

Гибкий этаж (*soft storey*) — уровень здания с существенно пониженной боковой жесткостью относительно вышележащих этажей. Это вызывает концентрацию деформаций на одном уровне, рост межэтажных перемещений, пластические повреждения вертикальных элементов и механизм разрушения типа «этажного шарнира», повышая риск локального разрушения и прогрессирующего обрушения. По НТП РК-08-01.2-2021 (2024) гибким считается этаж, если его боковая жесткость  $<70\%$  жесткости вышележащего этажа либо  $<80\%$  средней жесткости трех этажей выше. Критерий удобен для идентификации вертикальной нерегулярности, однако неблагоприятная реакция возможна и при формальном соблюдении порогов из-за кручения, перераспределения усилий и пространственной работы стен, особенно при сложной планировке и крупных проемах.

*Причины формирования гибкого этажа и практические последствия*

Наиболее частая причина гибкого этажа — архитектурное «раскрытие» уровня (обычно первого) под парковку/коммерцию/входные группы. Число стен и заполнений уменьшается, тогда как верхние этажи остаются более жесткими, что формирует выраженную вертикальную нерегулярность и концентрацию деформаций внизу здания.

В обзорной работе Abidi & Madhuri (2012) отмечено, что гибкий этаж типичен для высотных зданий с открытым первым уровнем; снижение жесткости ведет к росту перемещений и повреждаемости. Наиболее результативной мерой компенсации названы стены жесткости, повышающие пространственную жесткость и улучшающие распределение усилий.

*Численные исследования гибкого этажа в каркасных системах*

Большинство исследований посвящено железобетонным каркасам, где нерегулярность возникает из-за отсутствия заполнений, изменения высоты этажей или локального ослабления элементов; обычно оценивают перемещения, этажные сдвигающие усилия и жесткость.

Shabla et al. (2024) сравнили меры снижения влияния гибкого первого этажа: стены жесткости, связевые системы, усиленные колонны и вязкие демпферы; спектральный расчет показал, что гибкий этаж резко увеличивает деформации, а наиболее эффективны стены жесткости при рациональном размещении. Sharma et al. (2016) на модели G+10



показали, что наиболее неблагоприятен гибкий этаж на первом уровне; при переносе нерегулярности выше негативный эффект уменьшается (Sharma & Phuke, 2025).

#### *Неструктурные компоненты и эксплуатационная пригодность*

Pesaralanka et al. (2023) показали, что гибкий этаж усиливает не только перемещения на уровне нерегулярности, но и ускорения перекрытий, повышая спрос на неструктурные компоненты. Подчеркнуто, что упрощенные нормативные зависимости могут недооценивать пики ускорений и амплификацию в зоне гибкого этажа, поэтому оценка должна учитывать и эксплуатационную пригодность.

#### *Стены жесткости: эффективность и размещение в плане*

Эффективность стен жесткости определяется не только их наличием, но и размещением, влияющим на кручение и пространственную работу. Vagestan et al. (2026) показали, что размещение стен по углам улучшает динамические характеристики и перераспределение усилий по сравнению с вариантом без стен, однако может менять и локально повышать усилия в элементах, что требует комплексной интерпретации. Khudhair (2019) также установил существенное снижение перемещений при введении стен; наиболее эффективны решения с ядром и угловыми зонами.

#### *Проемы и связанные стены*

Preetham et al. (2023) показали, что увеличение доли проемов в стенах жесткости может уменьшать перемещения, но одновременно повышать этажный сдвиг, крутящий момент и изгибающие моменты, а также усилия в примыкающих колоннах; значит, оценка должна быть многокритериальной. Для стеновых систем важна работа связанных стен (*coupled shear walls*): Bhunia et al. (2013) предложили подход к проектированию с обеспечением пластичности и энергорассеяния; верификация на 20-этажной модели и сопоставление с SAP/DRAIN-3DX дали приемлемые расхождения порядка 5–10 %, отмечено влияние условий закрепления основания.

Публикации согласованно показывают: гибкий этаж вызывает концентрацию перемещений и деформаций на уровне нерегулярности; наиболее критичен гибкий этаж в нижней части; стены жесткости при рациональном размещении эффективнее всего снижают деформации и кручение; при этом улучшение по перемещениям может сопровождаться ростом усилий (Shabla et al., 2024; Sharma et al., 2025; Pesaralanka et al., 2023; Vagestan et al., 2026; Khudhair & Mouli, 2017; Preetham et al., 2023).

Однако основная масса исследований ориентирована на каркасные схемы, тогда как для стеновых, в том числе перекрестно-стеновых, систем влияние плановой конфигурации стен и их связности на торсионную реакцию и регулярность изучено существенно меньше. Это обосновывает актуальность численного исследования влияния вариантов расстановки стен в плане на отклик стеновой системы с гибким первым этажом по показателям перемещений, регулярности в плане, этажных усилий и этажной жесткости в условиях сейсмичности 7–9 баллов, характерных для Казахстана.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследование выполнено в форме численного расчетно-аналитического моделирования с использованием пространственной 3D-модели в ПК ЛИРА-САПР 2024. Расчет железобетонных элементов принят в соответствии с требованиями СП РК EN 1992-1-1:2004/2011 (2025), а нагрузки и сочетания в соответствии с требованиями СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (2025). Сейсмическое воздействие задано по национальной версии Eurocode 8 (СП РК EN 1998-1:2004/2012, 2017) и базовому стандарту EN 1998-1 (CEN, 2004). Критерии оценки регулярности в плане приняты по НТП РК-08-01.2-2021 (2024).

Новизна работы заключается в параметрическом сопоставлении вариантов стеновой (перекрестно-стеновой) системы при наличии гибкого (открытого) первого этажа с

количественной оценкой регулярности в плане и распределения усилий/жесткости, что позволяет обосновать практические рекомендации по рациональной плановой компоновке стен в сейсмоопасных районах Казахстана.

### 3.1 Объект исследования и конструктивная схема

Объектом исследования является типовое монолитное железобетонное жилое здание-прототип перекрестно-стеновой конструктивной системы. Первый надземный этаж принят гибким, то есть с пониженной боковой жесткостью вследствие отсутствия наружных продольных стен. В последующих вариантах в несущую систему поэтапно добавлялись наружные продольные стены в направлении оси X, что позволило оценить влияние степени их планового присутствия на параметры сейсмического отклика.

План здания прямоугольный  $35 \times 14,6$  м. Высота первого этажа 4,5 м, высота типового этажа 3,0 м. Этажность здания: V1+G+5 (6 надземных этажей и 1 подземный).

### 3.2 Расчетные варианты моделей (параметрическое сравнение)

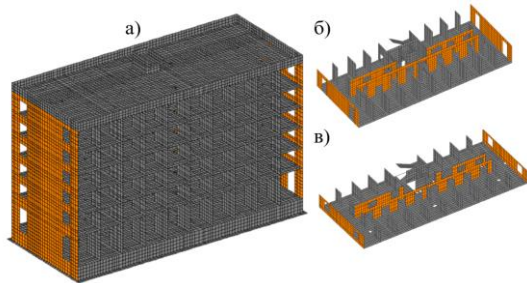
Ключевые исходные данные, принятые допущения и нормативные основания расчета (объект, варианты моделей A–D, материалы, нагрузки, параметры сейсмического воздействия и критерии оценки) сведены в таблицу 1, что обеспечивает однозначность методики и воспроизводимость расчетов.

**Таблица 1.** Исходные данные и методика численного исследования

Блок	Параметр	Принято в исследовании
Объект и схема	Тип здания (монолитное ЖБ здание стеновой системы)	Гибкий 1-й этаж; далее — поэтапное добавление наружных продольных стен по оси X
	План, габариты	$35 \times 14,6$ м
	Высоты этажей	1-й этаж: 4,5 м; типовой этаж: 3,0 м
Варианты моделей	Модель А (0% наружных продольных стен по оси X)	Рис. 1
	Модель В (20% наружных продольных стен по оси X)	Рис. 2
	Модель С (40% наружных продольных стен по оси X)	Рис. 3
	Модель D (60% наружных продольных стен по оси X)	Рис. 4
Материалы и элементы	Материалы ЖБ (бетон C25/30; арматура A500) (СП РК EN 1992-1-1:2004/2011, 2025)	Принято одинаково для всех моделей
	Фундаментная плита	$t = 600$ мм
	Несущие стены	$t = 250$ и $300$ мм
	Плиты перекрытий и покрытия	$t = 200$ мм
Нагрузки и сочетания (СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011, 2025)	Нагрузки и сочетания	Использованы одинаково для всех моделей
	Постоянная нагрузка на пол	$0,15$ т/м <sup>2</sup>
	Временная нагрузка кат. А	$0,20$ т/м <sup>2</sup>
	Временная нагрузка кат. В	$0,20$ т/м <sup>2</sup>
	Временная нагрузка кат. D	$0,40$ т/м <sup>2</sup>

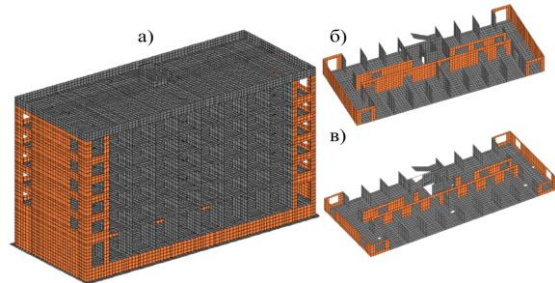
Окончание табл. 1

Блок	Параметр	Принято в исследовании
Сейсмика и метод расчета	Метод расчета: спектральный (спектр реакции) (СЕН, 2004; СП РК EN 1998-1:2004/2012, 2017)	Реализован в ПК ЛИРА-САПР 2024
	Рассмотренные уровни сейсмичности	7, 8, 9 баллов
	Расчетные горизонтальные ускорения	7б – 0,20g; 8б – 0,30g; 9б – 0,65g
Показатели оценки (НТП РК-08-01.2-2021, 2024)	Максимальные этажные перемещения	Максимальные горизонтальные смещения на уровнях этажей
	Регулярность в плане (критерий $\delta_{kmax}$ и $\delta_{kav}$ )	Порог: $\leq 10\%$ – регулярная; 10–25% – умеренно нерегулярная
	Этажные сдвигающие усилия	Storey shear на уровнях этажей
	Этажная жесткость и признак гибкого этажа (НТП РК-08-01.2-2021, 2024)	Оценка по относительным жесткостям уровня (сопоставление с вышележащими этажами)
Примечание по процедуре регулярности	Линейный расчет на основе расчетного спектра реакции (НТП РК 08-01.1-2017, 2017)	
<i>Примечание – составлено авторами</i>		



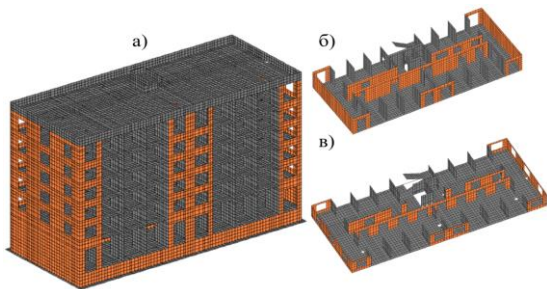
**Рисунок 1.** а) расчетная схема – модель А, б) первый этаж, в) типовой этаж.

*Примечание – составлено авторами*



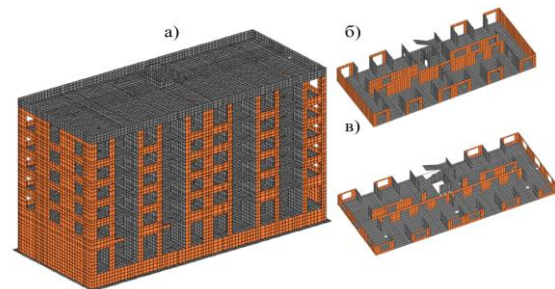
**Рисунок 2.** а) расчетная схема – модель В, б) первый этаж, в) типовой этаж.

*Примечание – составлено авторами*



**Рисунок 3.** а) расчетная схема – модель С, б) первый этаж, в) типовой этаж.

*Примечание – составлено авторами*



**Рисунок 4.** а) расчетная схема – модель D, б) первый этаж, в) типовой этаж.

*Примечание – составлено авторами*

В расчетной постановке приняты следующие допущения и параметры моделирования: пространственная работа здания моделировалась в линейно-спектральной постановке; перекрытия и покрытие в пределах этажа принимались как жесткие диски в своей плоскости, обеспечивающие совместную работу вертикальных несущих элементов; условия закрепления основания задавались на уровне подошвы фундаментной плиты в виде упругого основания с соответствующими расчетными характеристиками; расчетное сейсмическое воздействие задавалось по спектру реакции в соответствии с СП РК EN 1998-1:2004/2012 для грунтов III категории; коэффициент демпфирования принимался равным 5 %; комбинация модальных форм выполнялась по правилу СЭС; число учитываемых форм колебаний принималось достаточным для корректного учета модального вклада в каждом из главных направлений.

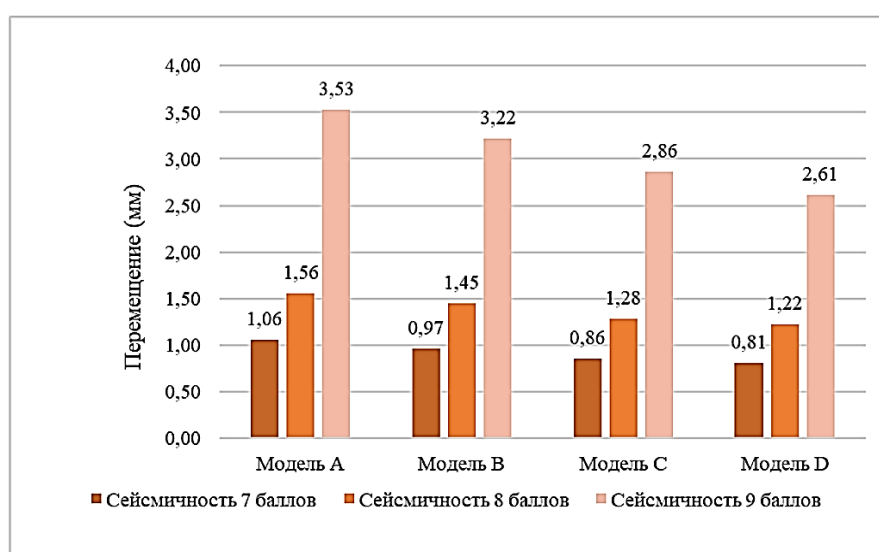
Критерий регулярности по п. 3.2.1 НТП РК-08-01.2-2021 (2024) принят следующим образом: конструктивная схема считается регулярной в плане, если различие между  $\delta_{kmax}$  и  $\delta_{kav}$  (по направлениям главных горизонтальных осей), определенными по результатам линейного расчета на основе расчетного спектра реакции в соответствии с п. 4.2.5 НТП РК 08-01.1-2017 (2024), не превышает 10 %; при превышении 10 %, но не более 25 %, схема относится к умеренно нерегулярным.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В разделе приведены результаты численного расчета и выполнено сопоставление сейсмического отклика здания для моделей А–D в условиях сейсмических зон 7, 8 и 9 баллов. Модели различаются долей наружных продольных стен в направлении оси X (0 %, 20 %, 40 %, 60 %), что позволяет оценить влияние плановой конфигурации стен на перемещения, регулярность в плане, этажные усилия и жесткость.

### 4.1 Этажные перемещения

На рисунке 5 показаны горизонтальные перемещения на уровне первого этажа для моделей А–D в зонах 7, 8 и 9 баллов. Наблюдается устойчивая тенденция: модель А демонстрирует наибольшие перемещения, а модель D – наименьшие, что соответствует росту боковой жесткости при увеличении доли продольных стен.



**Рисунок 5.** Сравнение перемещений на уровне первого этажа для различных моделей  
Примечание – составлено авторами

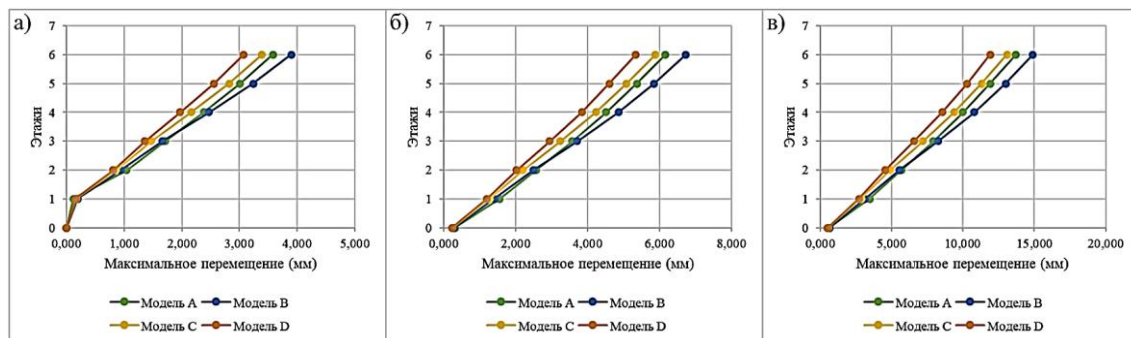
Интерпретация результатов основана на следующей причинно-следственной связи: увеличение доли продольных стен повышает пространственную боковую жесткость и уменьшает крутильную составляющую, что приводит к снижению горизонтальных перемещений и изменяет распределение этажных усилий по высоте. При этом рост жесткости закономерно сопровождается увеличением воспринимаемых системой инерционных сил (этажных сдвигов), особенно в нижних уровнях.

Обобщение выявленных закономерностей по моделям А–D (перемещения, регулярность в плане, этажные усилия и жесткость) и их инженерная интерпретация приведены в таблице 2, на которую следует ориентироваться при формулировке итоговых выводов.

**Таблица 2.** Сводная интерпретация поведения моделей А–D (по рис. 5-11)

Показатель	Модель А (0 %)	Модель В (20 %)	Модель С (40 %)	Модель D (60 %)
Перемещения	Наиболее неблагоприятная по совокупности показателей; на уровне первого этажа – максимальные (рис. 5), при этом по отдельным уровням при 9 баллах ниже, чем у модели В (рис. 6)	По отдельным уровням при 9 баллах выше, чем у модели А по поступательной составляющей (рис. 6)	Ниже, чем у А–В	Минимальные
Регулярность в плане	>25 % (нерегулярная, крутильно-податливая) (рис. 7)	≤25 % (умеренно нерегулярная)	≤10 % (регулярная)	≤10 % (регулярная)
Этажные сдвигающие усилия	Минимальные (рис. 8–9)	Выше, чем у А	Выше, чем у А	Максимальные (особенно при 9 баллах)
Этажная жесткость	Минимальная (рис. 10–11)	Выше, чем у А	Выше, чем у В	Максимальная
Признак гибкого этажа	$K_1 \approx 64$ % выраженное снижение жесткости (рис. 11)	Ослабление снижается	Ослабление компенсируется	Ослабление компенсируется
<i>Примечание – составлено авторами</i>				

На рисунке 6 (а–в) представлены максимальные горизонтальные перемещения по высоте здания. Минимальные значения устойчиво характерны для модели D, тогда как при воздействии 9 баллов наибольшее значение перемещений по отдельным уровням фиксируется у модели В. Следует отметить, что в отдельных случаях перемещения модели А оказываются ниже, чем у модели В. Данный результат не следует интерпретировать как более благоприятную работу модели А, поскольку он может быть связан с перераспределением отклика между поступательной и крутильной составляющими при выраженной плановой нерегулярности. В рамках настоящего исследования этот эффект рассматривается как косвенное проявление неблагоприятной торсионной чувствительности модели А, тогда как его окончательное количественное подтверждение требует анализа специальных показателей кручения.



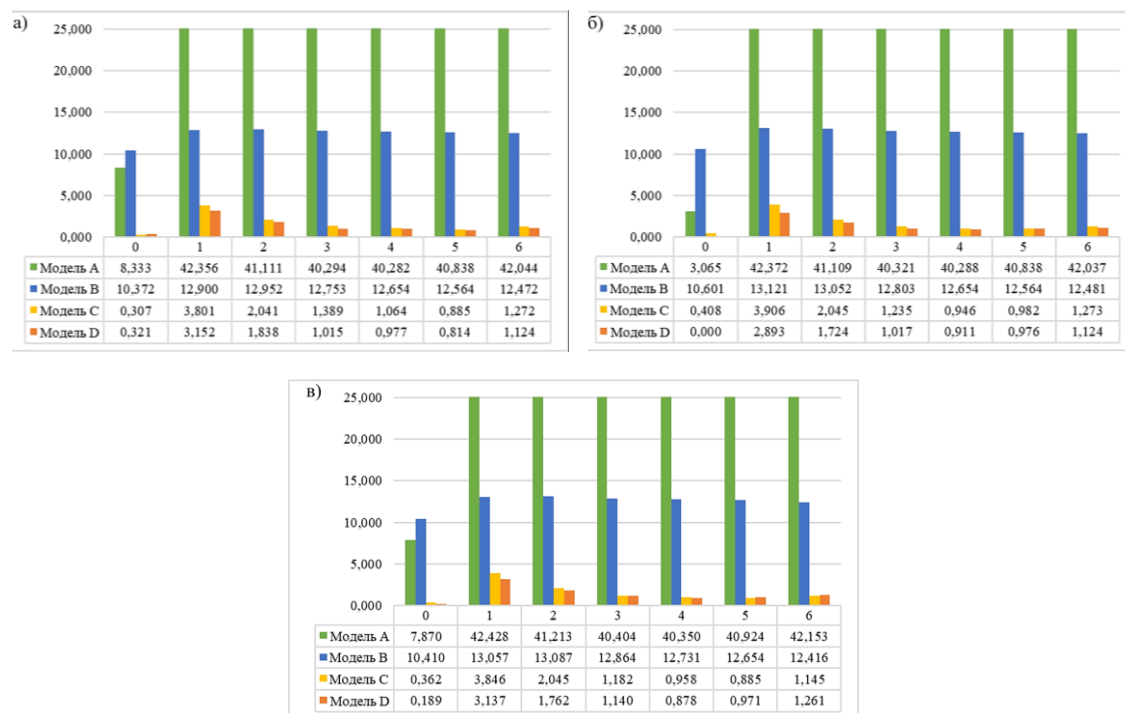
**Рисунок 6.** Результаты максимальных перемещений для разных моделей А–D:  
а) 7 баллов; б) 8 баллов; в) 9 баллов.

*Примечание – составлено авторами*

Вывод по п. 4.1: увеличение доли наружных продольных стен приводит к снижению перемещений и стабилизации отклика; при малой доле стен возрастает роль кручения, что ухудшает предсказуемость и равномерность работы системы.

#### 4.2 Регулярность в плане

На рисунке 7 (а–в) приведен показатель относительного различия перемещений крайних точек перекрытия (критерий регулярности в плане).



**Рисунок 7.** Показатель регулярности в плане для моделей А–D:  
а) 7 баллов; б) 8 баллов; в) 9 баллов.

*Примечание – составлено авторами*

Модель А демонстрирует превышение 25 %, что соответствует выраженной плановой нерегулярности и крутильно-податливому характеру работы.

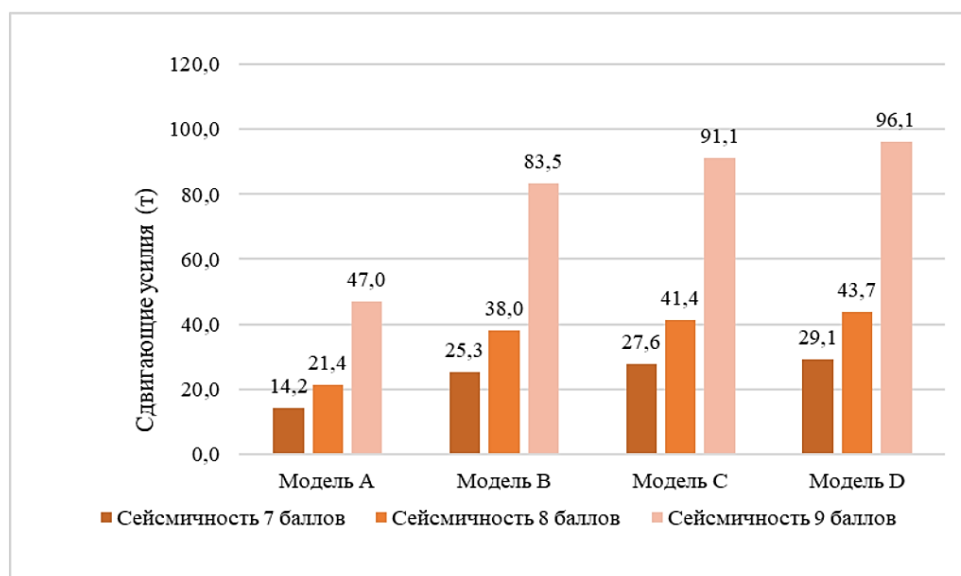
Модель В остается в пределах до 25 %, то есть относится к умеренно нерегулярным схемам.

Модели С и D удовлетворяют критерию  $\leq 10\%$ , что указывает на переход к регулярной схеме с более равномерным распределением жесткости и снижением торсионной реакции.

Вывод по п. 4.2: добавление продольных стен по оси X не только повышает общую жесткость, но и выравнивает жесткостное поле в плане, уменьшая эксцентриситет жесткости/массы и, как следствие, снижая крутильные эффекты.

#### 4.3 Этажные сдвигающие усилия

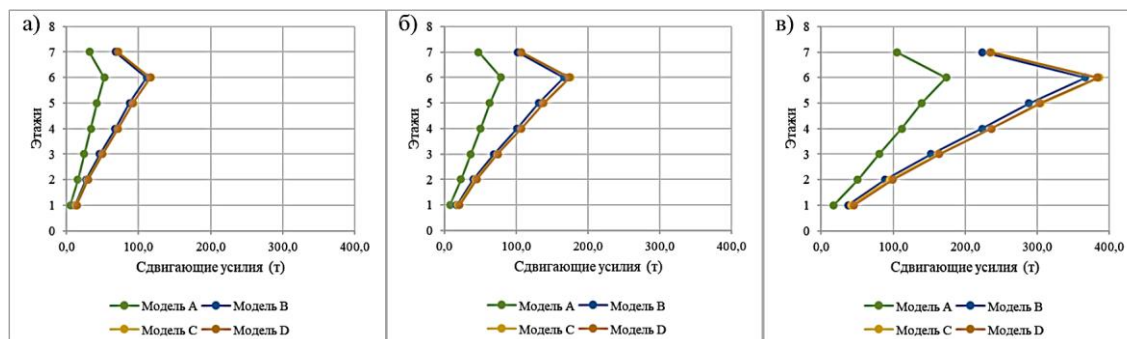
На рисунке 8 показаны этажные сдвигающие усилия на уровне первого этажа, на рисунке 9 (а-в) — их распределение/максимальные значения по моделям для 7, 8 и 9 баллов.



**Рисунок 8.** Изменение этажных сдвигающих усилий для различных моделей на уровне первого этажа

Примечание – составлено авторами

Результаты демонстрируют закономерность: при увеличении доли продольных стен (переход от А к D) возрастают воспринимаемые системой этажные сдвигающие усилия, особенно при 9 баллах, где модель D показывает максимальные значения. При этом модель А характеризуется минимальными усилиями.



**Рисунок 9.** Результаты максимальных усилий для разных моделей А–D:

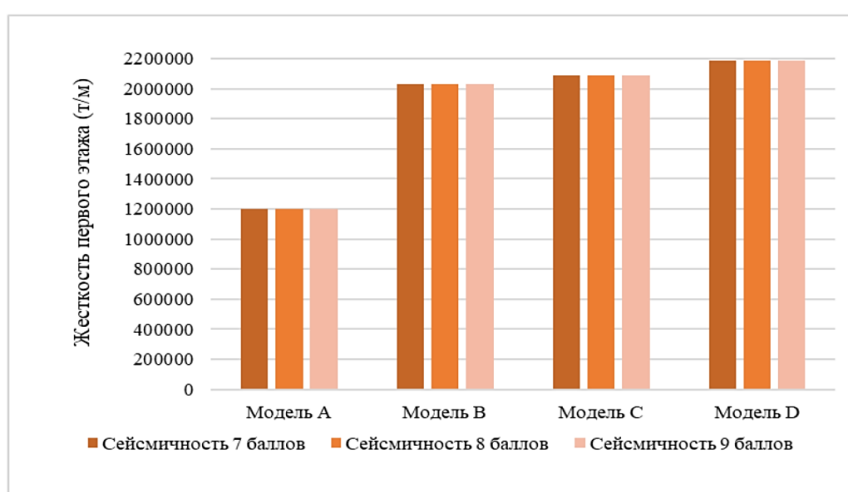
а) 7 баллов; б) 8 баллов; в) 9 баллов

Примечание – составлено авторами

Вывод по п. 4.3: более жесткая система (модели В–D) привлекает большую долю инерционных сил и эффективнее вовлекается в сопротивление горизонтальному воздействию, что приводит к росту внутренних усилий (особенно в нижних этажах). Следовательно, повышение жесткости за счет стен уменьшает перемещения, но требует повышенного внимания к расчетной несущей способности и конструированию элементов нижних этажей.

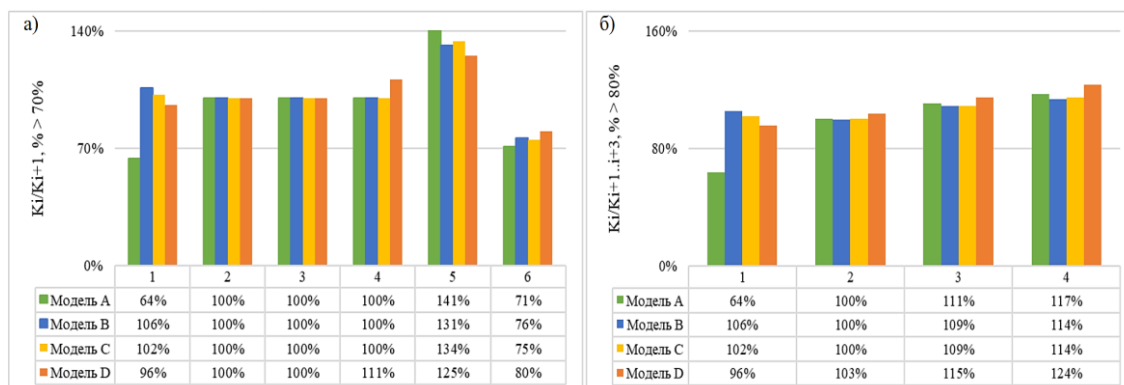
#### 4.4 Этажная жесткость и признак гибкого этажа

На рисунке 10 приведена этажная жесткость на уровне первого этажа. Максимальные значения характерны для модели D, минимальные — для модели A. Отмеченная инвариантность значений для разных сейсмических зон логична: жесткость определяется геометрией и физико-механическими характеристиками элементов, а не уровнем заданного воздействия.



**Рисунок 10.** Изменение жесткости для различных моделей на уровне первого этажа  
Примечание – составлено авторами

На рисунке 11 (а–б) показаны относительные показатели: отношение жесткости этажа к вышележащему и к среднему значению трех вышележащих этажей.



**Рисунок 11.** Относительная этажная жесткость для расчетных моделей А–D:  
а) отношение жесткости этажа к жесткости вышележащего этажа  $K_i/K_{i+1}$ ; б) отношение жесткости этажа к средней жесткости трех вышележащих этажей  $K_i/\bar{K}_{i+1..i+3}$ .  
Примечание – составлено авторами



Для модели А относительная жесткость первого этажа составляет 64 %, что указывает на выраженное снижение боковой жесткости и подтверждает признаки формирования гибкого этажа по принятому нормативному критерию.

Вывод по п. 4.4: при недостатке стен в нижнем уровне (модель А) формируется зона концентрации деформаций и повышенного риска повреждений, тогда как увеличение доли стен (модели С–D) выступает эффективной мерой «жесткостной компенсации», одновременно улучшая регулярность в плане.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Выполненное численное исследование сейсмического отклика монолитного железобетонного здания перекрестно-стеновой системы с гибким первым этажом показало, что доля наружных продольных стен по оси X определяющим образом влияет на перемещения, торсионную составляющую, регулярность в плане, этажные усилия и жесткость при воздействиях 7, 8 и 9 баллов. Тем самым цель работы — количественно оценить влияние плановой компоновки стен на ключевые параметры отклика — была достигнута.

Установлено, что увеличение доли продольных стен в целом приводит к снижению горизонтальных перемещений и уменьшению крутильной реакции; минимальные перемещения устойчиво характерны для модели D (60%). При этом по отдельным уровням при воздействии 9 баллов максимальные поступательные перемещения фиксируются у модели В, тогда как модель А остается наиболее неблагоприятной по совокупности показателей регулярности, жесткости и торсионной чувствительности.

По критерию регулярности в плане модель А является наиболее неблагоприятной (превышение 25%, крутильно-податливая схема), модель В соответствует умеренно нерегулярной (до 25%), тогда как модели С и D удовлетворяют критерий регулярности (до 10%). При этом выявлен важный практический эффект: рост жесткости (модели В–D) сопровождается увеличением этажных сдвигающих усилий, особенно при 9 баллах, что требует усиленного контроля конструктивных решений нижних этажей. Дополнительно показано, что для модели А относительная жесткость первого этажа составляет 64%, что подтверждает признаки формирования гибкого этажа по нормативным критериям.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:** Авторы заявляют, что не имеют финансовых, академических или личных интересов, которые могли бы повлиять на результаты данного исследования. Все этапы работы выполнены объективно, без стороннего влияния.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Исследование выполнено без привлечения внешних источников финансирования. Проведенный анализ, сбор материалов и подготовка рукописи осуществлены авторами в рамках их академической и научно-исследовательской деятельности.

**ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ОДОБРЕНИИ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМ ЭТИЧЕСКИМ КОМИТЕТОМ (IRB):** Не применимо.

**ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ИНФОРМИРОВАННОМ СОГЛАСИИ:** Не применимо.

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:** Данные, подтверждающие результаты данного исследования, представлены в статье.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Авторы выражают глубокую признательность коллегам за конструктивные замечания, помощь в уточнении методологических подходов и обсуждение результатов исследования. Также авторы благодарят сотрудников Международной образовательной корпорации и научных консультантов за поддержку, предоставление материалов и содействие в организации полевых исследований на территории города Туркестана.

**УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА:** В процессе подготовки статьи авторы использовали инструменты генеративного искусственного интеллекта исключительно для редактирования текста, структурирования материалов и проверки формулировок. Все интерпретации, выводы, научные положения и результаты исследования полностью принадлежат авторам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

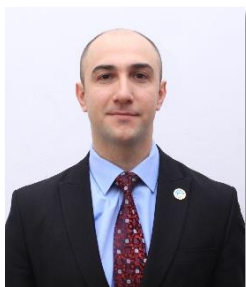
- Abidi, M., & Mangulkar, M. N. (2012). Review on shear wall for soft story high-rise buildings. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 1(6). [https://www.academia.edu/3834060/Review\\_on\\_Shear\\_Wall\\_for\\_Soft\\_Story\\_High-Rise\\_Buildings](https://www.academia.edu/3834060/Review_on_Shear_Wall_for_Soft_Story_High-Rise_Buildings)
- Bhunia, D., Prakash, V., & Pandey, A. D. (2013). A conceptual design approach of coupled shear walls. *ISRN Civil Engineering*, 2013, Article 161502. <https://doi.org/10.1155/2013/161502>
- Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. (2023). Gaziantep Türkiye M7.7 earthquake, 6 February 2023 (04:17 local time): Preliminary report. [https://eqe.bogazici.edu.tr/sites/eqe.boun.edu.tr/files/kahramanmaras-gaziantep\\_earthquake\\_-06-02-2023\\_04.17-bogazici\\_university\\_earthquake\\_engineering\\_department\\_v6.pdf](https://eqe.bogazici.edu.tr/sites/eqe.boun.edu.tr/files/kahramanmaras-gaziantep_earthquake_-06-02-2023_04.17-bogazici_university_earthquake_engineering_department_v6.pdf)
- CEN. (2004). EN 1998-1:2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance — Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization. <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpage.php?id=138>
- EERI. (2023). Learning from earthquakes: Türkiye–Syria earthquake of February 6, 2023. Earthquake Engineering Research Institute. <https://www.eeri.org/about-eeri/news/16294-geer-and-eeri-release-joint-report-on-2023-kahramanmaras-earthquakes>
- FEMA. (2015). Seismic evaluation and retrofit of existing buildings (FEMA P-1050). Federal Emergency Management Agency. [https://www.fema.gov/media-library-data/1431372461608-0c3d8d9a9c2b5f8d52a2f09b6bcb3b45/FEMA\\_P-1050.pdf](https://www.fema.gov/media-library-data/1431372461608-0c3d8d9a9c2b5f8d52a2f09b6bcb3b45/FEMA_P-1050.pdf)
- Khudhair, S. Y. (2019). The suitable location for shearing walls on soft storey in high rise buildings to increase its stiffness. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10(2), 1981–1988. [https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal\\_uploads/IJCIET-VOLUME\\_10\\_ISSUE\\_2/IJCIET\\_10\\_02\\_208.pdf](https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJCIET-VOLUME_10_ISSUE_2/IJCIET_10_02_208.pdf)
- Khudhair, S. Y., & Mouli, D. C. (2017). Study of the vertical irregularities in tall RC structures under lateral load. *Research Gate*. [https://www.researchgate.net/publication/334466294\\_Study\\_of\\_the\\_Vertical\\_Irregularities\\_in\\_Tall\\_RC\\_Structures\\_under\\_Lateral\\_Load](https://www.researchgate.net/publication/334466294_Study_of_the_Vertical_Irregularities_in_Tall_RC_Structures_under_Lateral_Load)
- Pesaralanka, M., Vukobratovic, V., Ruggieri, S., & Fajfar, P. (2023). Influence of a soft story on the seismic response of non-structural components. *Sustainability*, 15(4), Article 2860. <https://doi.org/10.3390/su15042860>
- Preetham, C. M., Ghorpade, V. G., & Rao, H. S. (2023). Analysis of soft storey building with different percentages of openings in shear walls by using ETABS software. *Journal of Harbin Engineering University*, 44(10), 184–189. <https://harbinengineeringjournal.com/index.php/journal/article/download/1481/1103/2656>
- Sabekov, S. (2023). Названы самые сейсмоопасные регионы Казахстана. Информационное агентство «Казинформ». [https://www.inform.kz/ru/nazvany-samy-seysmoopasnye-regiony-kazahstana\\_a4095134](https://www.inform.kz/ru/nazvany-samy-seysmoopasnye-regiony-kazahstana_a4095134) // Sabekov, S. (2023). Nazvany samye seysmoopasnye regiony Kazakhstana [The most seismically hazardous regions of Kazakhstan have been named]. *Informatsionnoe agentstvo «Kazinform» – Kazinform News Agency*. [https://www.inform.kz/ru/nazvany-samy-seysmoopasnye-regiony-kazahstana\\_a4095134](https://www.inform.kz/ru/nazvany-samy-seysmoopasnye-regiony-kazahstana_a4095134) (In Russ.)
- Shabla, K., Praseeda, K. I., & Pany, C. (2024). Moderating the soft storey impact in multi-storey buildings: A comparative seismic investigation. *Journal of Sustainable Construction*



- Materials and Technologies, 9(4), 355–364. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jscmt/article/1607472>
- Sharma, P., Rajendra, S., & Vanisree, C. N. (2016). Comparative study on effects of regular and irregular structures subjected to lateral loading by equivalent static method and response spectrum method. *International Journal of Advanced Engineering and Management Science*, 2(5), 263–268. <https://ijaems.com/detail/a-comparative-study-on-effects-of-regular-and-irregular-structures-subjected-to-lateral-loading-by-equivalent-static-method-and-response-spectrum-method/>
- Sharma, S. P., & Phuke, R. M. (2025). Effect of soft storey on multi-storey building. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 13(4), 6576–6589. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.69889>
- Tena-Colunga, A., Pérez-Rocha, L. E., & Ruiz, S. E. (2008). Evaluation of soft-story irregular buildings during earthquakes. *Engineering Structures*, 30(12), 3683–3695. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.06.005>
- University of Cambridge. (2024). Turkey-Syria earthquakes: Deficiencies in building structures and construction shortcuts were main cause of casualties. *University of Cambridge – Research News*. <https://www.cam.ac.uk/research/news/new-report-into-turkey-syria-earthquakes-uncovers-deficiencies-in-building-structures-and>
- USGS. (2023). M7.8 – Türkiye–Syria earthquake sequence, February 6, 2023. *United States Geological Survey*. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/executive>
- Vagestan, P. K., Periyasamy, M., & Sakthimurugan, K. (2026). Seismic analysis of multi-storey building with shear walls using ETABS. *EPJ Web of Conferences*, 345, 01031. <https://doi.org/10.1051/epjconf/202634501031>
- СП РК EN 1990:2002+A1:2005/2011. (2025). Основы проектирования несущих конструкций. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=38116720&pos=9;201](https://prg.kz/document/?doc_id=38116720&pos=9;201) // SP RK EN 1990:2002+A1:2005/2011. (2025). Osnovy proektirovaniya nesushchikh konstruktsiy [Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings]. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=38116720&pos=9;201](https://prg.kz/document/?doc_id=38116720&pos=9;201) (In Russ)
- СП РК EN 1992-1-1:2004/2011. (2025). Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=32317184&pos=6;156](https://prg.kz/document/?doc_id=32317184&pos=6;156) // SP RK EN 1992-1-1:2004/2011. (2025). Proektirovanie zhelezobetonnykh konstruktsiy. Chast' 1-1. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy [Design of Reinforced Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings]. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=32317184&pos=6;156](https://prg.kz/document/?doc_id=32317184&pos=6;156) (In Russ)
- СП РК EN 1998-1:2004/2012. (2017). Проектирование сейсмостойких конструкций. Часть 1: Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=39656601](https://prg.kz/document/?doc_id=39656601) // SP RK EN 1998-1:2004/2012. (2017). Proektirovanie seismostoykikh konstruktsiy. Chast' 1: Obshchie pravila, seismicheskie vozdeystviya i pravila dlya zdaniy [Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings]. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=39656601](https://prg.kz/document/?doc_id=39656601) (In Russ)
- НТП РК 08-01.1-2017. (2017). Проектирование сейсмостойких зданий и сооружений. Часть: Общие положения. Сейсмические воздействия. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=37321048](https://prg.kz/document/?doc_id=37321048) // NTP RK 08-01.1-2017. (2017). Proektirovanie seismostoykikh zdaniy i sooruzheniy. Chast'. Obshchie polozheniya. Seismicheskie vozdeystviya [Design of Buildings and Structures for Earthquake Resistance. Part: General Rules. Seismic Actions]. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=37321048](https://prg.kz/document/?doc_id=37321048) (In Russ)

НТП РК-08-01.2-2021. (2024). Проектирование сейсмостойких зданий. Часть: Проектирование гражданских зданий. Общие требования. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=35580851](https://prg.kz/document/?doc_id=35580851) // NTP RK-08-01.2-2021. (2024). Proektirovanie seysmostoykikh zdaniy. Chast': Proektirovanie grazhdanskikh zdaniy. Obshchie trebovaniya [Seismic Design of Buildings. Part: Design of Civil Buildings. General Requirements]. [https://prg.kz/document/?doc\\_id=35580851](https://prg.kz/document/?doc_id=35580851) (In Russ)

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Брянцев Александр Александрович** – PhD, зерттеуші профессор, «Ras Engineering» ғылыми-зерттеу институты, Алматы қ., Қазақстан

**Брянцев Александр Александрович** – PhD, профессор-исследователь, Научно-исследовательский институт «RAS Engineering», г. Алматы, Казахстан

**Bryantsev Alexandr Alexandrovich** – PhD, research professor, «RAS Engineering» Research Institute, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: [assadenova@edu.ektu.kz](mailto:assadenova@edu.ektu.kz),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4052-8830>,



**Болат Диас Асылбекұлы** – магистрант, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

**Болат Диас Асылбекұлы** – магистрант, Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

**Bolat Dias Asylbekuly** – Master's student, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: [dias.bolat.2003@bk.ru](mailto:dias.bolat.2003@bk.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1420-6500>



**Остапенко Инна Ивановна** – PhD, архитектура мектебінің ассоцияланған профессоры, Халықаралық Білім Беру Корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

**Остапенко Инна Ивановна** – PhD, ассоциированный профессор школы архитектуры, Международная Образовательная Корпорация, г. Алматы, Казахстан

**Ostapenko Inna Ivanovna** – PhD, Associate Professor, School of Architecture, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: [ostapinna@mail.ru](mailto:ostapinna@mail.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7253-7251>,



**Дюсенова Дана Галымжановна** – PhD докторант, өнер магистрі, архитектура мектебінің ассоцияланған профессоры, Халықаралық Білім Беру Корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

**Дюсенова Дана Галымжановна** – PhD докторант, магистр искусствоведческих наук, ассоциированный профессор школы архитектуры, Международная Образовательная Корпорация, г. Алматы, Казахстан

**Dyussenova Dana Galymzhanovna** – PhD student, Master of Arts, Associate Professor, School of Architecture, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

e-mail: d.diusenova@kazgasa.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3415-5639>



**Буханцева Анна Евгеньевна** – PhD докторант, оқытушы, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» Өскемен қ., Қазақстан

**Буханцева Анна Евгеньевна** – PhD докторант, преподаватель, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан.

**Bukhantseva Anna Evgenyevna** – PhD student, Lecturer, «D. Serikbayev East Kazakhstan technical university», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: abukhantceva@edu.ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1182-4203>

[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_6](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_6)  
SRSTI 67.09.91

## MICROSTRUCTURAL AND ELEMENTAL CHARACTERISTICS OF CLAY AND MINERAL ADDITIVES FOR POTENTIAL USE IN CERAMIC MATERIALS

### КЕРАМИКАЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДА ПОТЕНЦИАЛДЫ ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН САЗ ЖӘНЕ МИНЕРАЛДЫ ҚОСПАЛАРДЫҢ МИКРОҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕМЕНТТІК СИПАТТАМАЛАРЫ

### МИКРОСТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕМЕНТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛИНЫ И МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Z. Zhumadilova <sup>1</sup>, Ye. Orynbekov <sup>1</sup>, M. Zhuginissov <sup>1</sup>, A. Tolegenova <sup>1\*</sup>,  
A. Zhagifarov <sup>1</sup>, R. Nurlybayev <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*Corresponding author: Aigerim Tolegenova, e-mail: a.tolegenova@satbayev.university

#### keywords:

clay, fly ash, silica fume,  
waste glass powder,  
microstructure, sem-eds  
analysis, ceramic materials.

#### ABSTRACT

This study investigates the microstructural and elemental characteristics of raw mineral materials used as potential additives in ceramic production. Clay, waste glass powder, silica fume, and fly ash were analyzed using scanning electron microscopy (SEM) coupled with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The materials were ground and sieved to obtain particles smaller than 74  $\mu\text{m}$  prior to analysis. SEM observations revealed distinct morphological features: clay particles exhibited irregular plate-like structures, waste glass showed angular fractured particles, silica fume consisted of extremely fine agglomerated particles, and fly ash displayed both spherical and irregular particles typical of combustion by-products. EDS analysis confirmed that silica and oxygen are the dominant elements in all materials, while aluminum, magnesium, potassium, and calcium were present in smaller amounts. The results indicate that these materials contain significant silica and aluminosilicate components, suggesting their potential use as mineral additives in ceramic systems and sustainable construction materials.

#### Түйінді сөздер:

балшық, ұшпа күл,  
микрокремнезем, шыны  
ұнтағы, микроқұрылым,  
SEM-EDS талдауы,  
керамикалық  
материалдар

#### ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл жұмыста керамикалық материалдар өндірісінде қолдануға болатын минералдық қоспалардың микроқұрылымы мен элементтік құрамы зерттелді. Балшық, шыны ұнтағы, микрокремнезем және ұшпа күл сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) және энергиядисперсиялық рентгендік талдау (EDS) әдістерін қолдану арқылы зерттелді. Талдауға дейін материалдар ұсақталып,



© 2026 Z. Zhumadilova, Ye. Orynbekov, M. Zhuginissov, A. Tolegenova,

A. Zhagifarov, R. Nurlybayev

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0

International License (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



74 мкм електен өткізілді. SEM нәтижелері бөлшектердің әртүрлі морфологиясын көрсетті: балшық пластинкалы құрылыммен сипатталады, шыны ұнтағы бұрышты сынған бөлшектерден тұрады, микрокремнезем өте ұсақ агломерацияланған бөлшектерден тұрады, ал ұшпа күл жану өнімдеріне тән сфералық және әртүрлі пішінді бөлшектерден тұрады. EDS талдауы зерттелген материалдардың негізгі элементтері кремний мен оттегі екенін, ал алюминий, магний, калий және кальций аз мөлшерде кездесетінін көрсетті. Алынған нәтижелер бұл материалдардың құрамында кремний және алюмосиликат компоненттерінің жоғары мөлшерде бар екенін көрсетеді және оларды керамикалық әрі экологиялық тұрақты құрылыс материалдарын өндіруде минералдық қоспа ретінде қолдану мүмкіндігін дәлелдейді.

---

**Ключевые слова:**

глина, зола уноса,  
микрокремнезем,  
стеклобой,  
микроструктура, SEM-  
EDS анализ,  
керамические материалы

---

**АННОТАЦИЯ**

В данной работе исследованы микроструктурные и элементные характеристики минеральных материалов, рассматриваемых как потенциальные добавки для производства керамических изделий. Глина, стеклобой, микрокремнезем и зола уноса были исследованы с использованием сканирующей электронной микроскопии (SEM) в сочетании с энергодисперсионным рентгеновским анализом (EDS). Перед анализом материалы были измельчены и просеяны через сито с размером ячеек 74 мкм. SEM-наблюдения показали различную морфологию частиц: глина характеризуется пластинчатой структурой, стеклобой представлен угловатыми фрагментированными частицами, микрокремнезем состоит из ультрадисперсных агломерированных частиц, а зола уноса содержит сферические и неправильной формы частицы. EDS-анализ показал, что основными элементами исследуемых материалов являются кремний и кислород, тогда как алюминий, магний, калий и кальций присутствуют в меньших количествах. Полученные результаты свидетельствуют о высоком содержании кремнеземных и алюмосиликатных компонентов, что подтверждает перспективность использования данных материалов в качестве минеральных добавок при производстве керамических и устойчивых строительных материалов.

---

## INTRODUCTION

The increasing demand for sustainable construction materials has led to growing interest in the utilization of industrial by-products and waste materials in ceramic production. The recycling of industrial waste not only reduces environmental pollution but also promotes the conservation of natural resources and the development of environmentally friendly building materials (Ahmaruzzaman, 2010; Mohajerani et al., 2017). In recent years, the construction industry has been actively seeking alternative raw materials capable of partially replacing natural resources traditionally used in building materials production. The use of industrial by-products in ceramic technology is considered an effective approach to achieving circular economy principles by transforming waste streams into valuable secondary resources. It has been reported that the global production of fly ash exceeds 750 million tons per year, while a significant portion of this waste still remains unused or disposed of in landfills, creating environmental concerns (Ahmaruzzaman, 2010).

Among various industrial by-products, fly ash has received considerable attention due to its high content of silica and alumina, which typically account for 60–80% of its chemical composition. These oxides are similar to the mineral components of clay materials and therefore allow fly ash to be successfully incorporated into ceramic bodies. Previous studies have shown

that the incorporation of 10–30% fly ash into clay bricks can improve compressive strength and durability while reducing firing energy consumption (Abbas et al., 2017; Sutcu et al., 2019; Yuan et al., 2022). In addition, the presence of fine spherical particles in fly ash contributes to improved packing density and microstructural development during sintering. This results in enhanced densification and reduced porosity of fired ceramic products, which ultimately improves their mechanical and durability properties.

Silica fume is another industrial by-product widely used in ceramic systems due to its extremely fine particle size and high amorphous silica content, which usually exceeds 85–95% SiO<sub>2</sub>. Because of its ultrafine particles and high pozzolanic reactivity, silica fume can significantly influence the microstructure formation of ceramic materials during thermal processing. The addition of silica fume can influence sintering behavior and improve the physico-mechanical properties of fired clay materials depending on the firing conditions and additive content (Baspinar et al., 2010; Elmaghraby & Ismail, 2016). Previous studies have reported that the incorporation of 5–15% silica fume may enhance the densification of ceramic bodies, reduce pore size distribution, and increase compressive strength (Kumar et al., 2021). Moreover, the presence of highly reactive silica may promote the formation of additional silicate phases during firing, which contributes to the improvement of the overall structural integrity of ceramic products.

Waste glass is also considered a promising secondary raw material for ceramic production. Due to its amorphous structure and high silica content, which typically ranges from 65–75% SiO<sub>2</sub>, crushed glass can act as a fluxing agent during firing and promote liquid phase formation at temperatures of approximately 900–1050 °C (Demir, 2009). The formation of a liquid phase during firing facilitates particle bonding and contributes to the densification of the ceramic matrix. Several studies have demonstrated that the incorporation of 10–25% waste glass in clay bricks contributes to waste recycling and improves the physical properties of ceramic products, including strength and water resistance (Akinwumi et al., 2019; Mao et al., 2020; Lesovik et al., 2024). Furthermore, the combined use of fly ash and waste glass in ceramic materials has been investigated as a sustainable approach for recycling industrial wastes and improving the overall performance of ceramic products (Karayannis et al., 2017; Yadav et al., 2024).

Despite numerous studies on the use of industrial by-products in ceramic brick production, the microstructural characteristics and elemental composition of the raw materials play a crucial role in determining their behavior during processing and firing. The morphology of particles, distribution of chemical elements, and interaction between mineral components significantly influence sintering mechanisms, phase formation, and the final properties of ceramic materials.

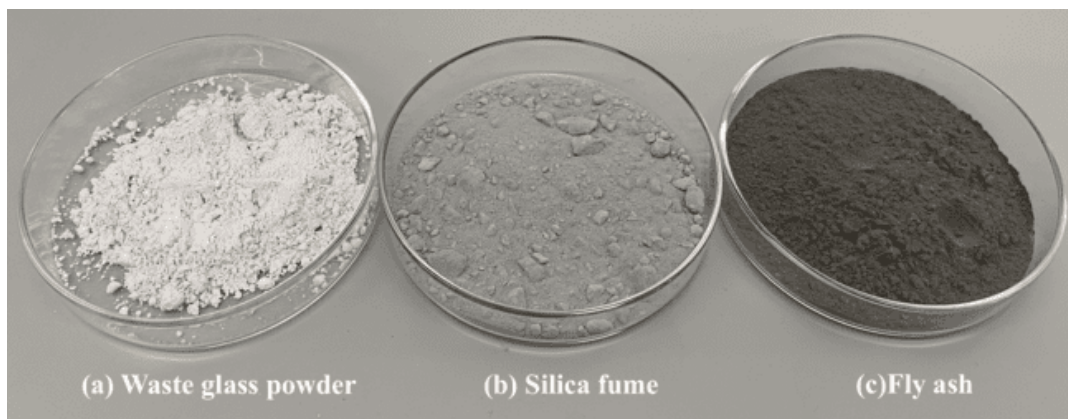
Therefore, the aim of this study is to investigate the microstructure and elemental composition of clay, crushed waste glass, silica fume, and fly ash using scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) in order to evaluate their potential application in clay-based ceramic materials.

## MATERIALS AND METHODS

The clay used in this study was obtained from the Burunday brick plant located in Almaty, Kazakhstan. Waste glass powder was sourced from recycled construction and demolition glass waste collected in Almaty, Kazakhstan. Silica fume was provided by LLP “QAZAQ Innotec” (Almaty, Kazakhstan), and its physical and chemical characteristics were determined based on the technical documentation supplied by the manufacturer.

Fly ash was obtained from the Pavlodar CHP-1 (Pavlodar, Kazakhstan). Fly ash is a by-product of coal combustion and is widely used as a pozzolanic material due to its high content of reactive aluminosilicate phases. Its chemical composition is characterized by a significant amount of silica (SiO<sub>2</sub>), which allow it for use as an active mineral additive in cementitious and ceramic systems (Kuldeyev et al., 2025).

For the SEM and EDS investigations, the raw materials – clay, waste glass powder, silica fume, and fly ash – were first finely ground and then sieved through a 200-mesh sieve to obtain powder particles smaller than  $74\ \mu\text{m}$  ( $0.074\ \text{mm}$ ). The appearance of the raw materials used in the study is shown in Figure 1.



**Figure 1.** Raw mineral additive materials used in the study

*Note – compiled by the authors*

The microstructural characteristics of the materials were examined using a JEOL JCM-7000 scanning electron microscope (Japan) at magnification  $3000\times$  and accelerating voltage  $10\text{kV}$  with a working distance of  $14\ \text{mm}$  in high-vacuum mode. Elemental composition was determined by energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) integrated with Scanning electron microscopy (SEM) system.

## RESULTS AND DISCUSSION

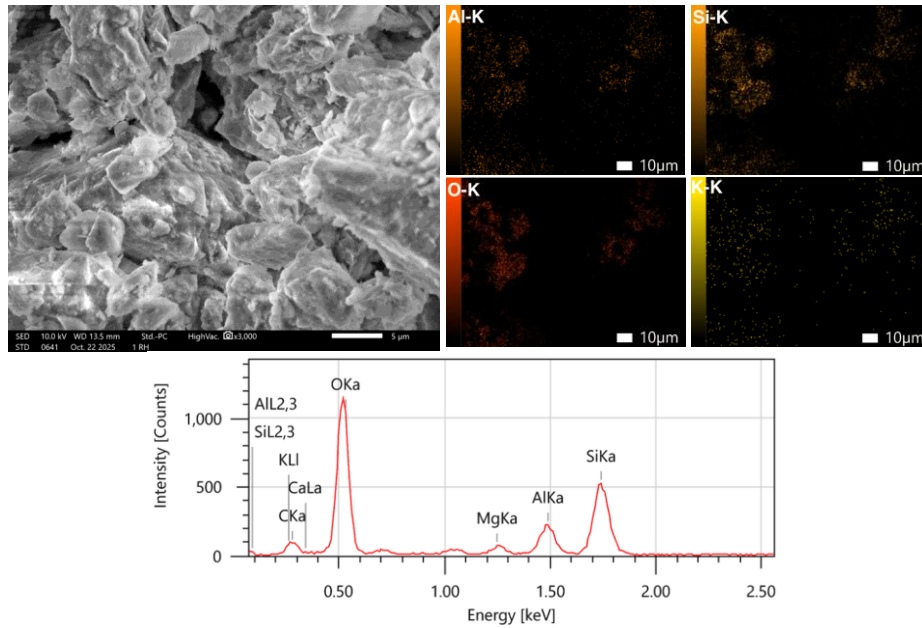
The microstructure and elemental composition of the investigated raw materials were studied using scanning electron microscopy (SEM) coupled with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). SEM images together with elemental mapping and EDS spectra are presented in Figures 2–5.

### 3.1 Microstructure of clay, waste glass powder, silica fume and fly ash

The SEM micrograph of clay (Figure 2) reveals irregular plate-like particles forming dense agglomerates. Such morphology is typical for natural aluminosilicate clay minerals, which generally consist of layered crystalline structures. The particles exhibit a flaky structure and rough surfaces, indicating the presence of fine clay platelets that tend to aggregate during drying and grinding.

The EDS spectrum confirms that the main elements present in the clay are oxygen, silicon and aluminum, which are characteristic components of aluminosilicate minerals. Minor amounts of magnesium, potassium and calcium are also detected. The elemental mapping images demonstrate a relatively uniform distribution of Al, Si, O and Mg throughout the analyzed region, confirming the homogeneous composition of the clay material.

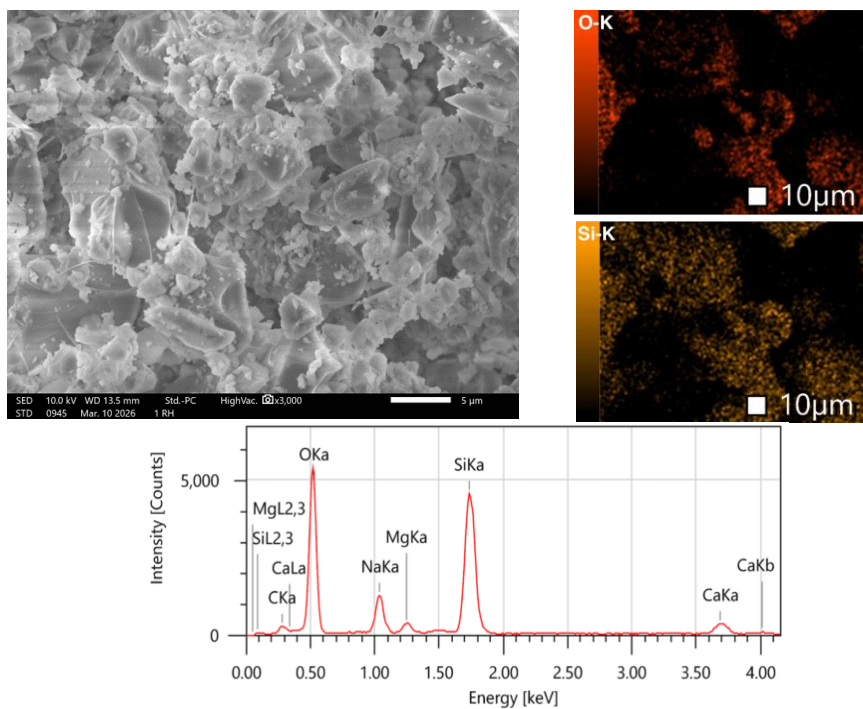
The observed morphology and elemental composition are consistent with typical natural aluminosilicate clays used in ceramic production. Similar microstructural characteristics of clay minerals and their aluminosilicate composition have been reported in previous studies investigating raw materials for fired brick manufacturing (Ahmaruzzaman, 2010; Sutcu et al., 2019).



**Figure 2.** Clay: SEM micrograph with corresponding EDS elemental distribution maps (Al, Si, O, K) and the EDS spectrum showing the elemental composition

*Note – compiled by the authors*

The SEM image of waste glass powder (Figure 3) shows irregular and angular particles with sharp edges. Such morphology is typical for mechanically crushed glass and reflects its brittle fracture behavior. The particles appear relatively dense and smooth compared to clay particles, which is consistent with the amorphous structure of glass.



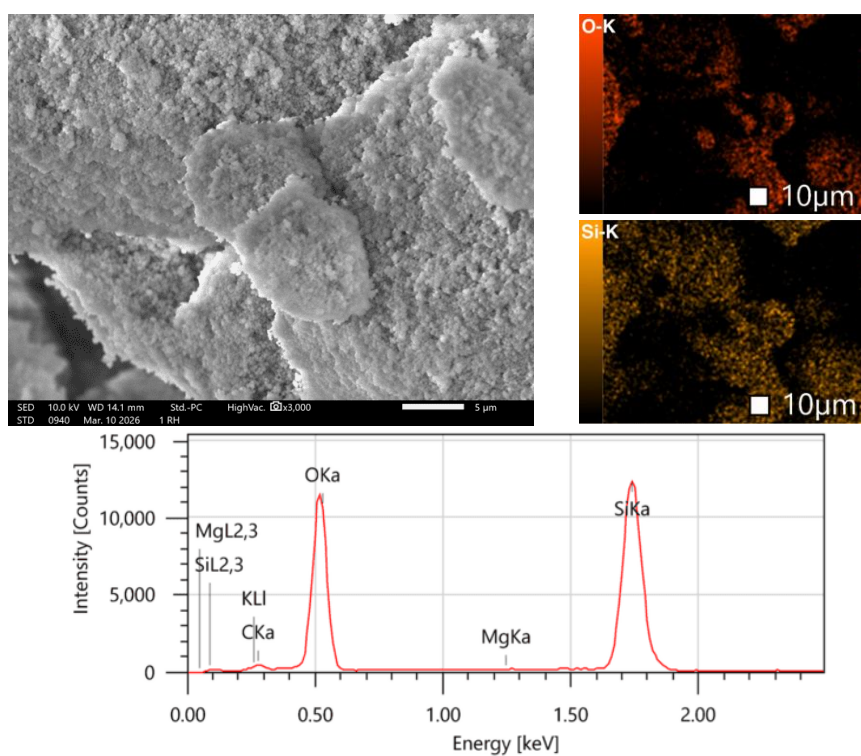
**Figure 3.** Waste glass: SEM micrograph with corresponding EDS elemental distribution maps (O, Si) and the EDS spectrum showing the elemental composition

*Note – compiled by the authors*

EDS analysis indicates that silicon and oxygen are the dominant elements in the waste glass powder, confirming its silica-rich composition. Small amounts of sodium, calcium and magnesium are also detected, which correspond to typical components of soda-lime glass. The presence of these elements suggests that the material may exhibit fluxing properties during high-temperature processing.

The irregular angular morphology and silica-rich composition of the waste glass powder are consistent with the characteristics of mechanically crushed glass reported in previous studies. Waste glass particles have been widely investigated as a fluxing additive in ceramic and brick production due to their high silica content and ability to promote vitrification during firing (Demir, 2009; Mohajerani et al., 2017; Mao et al., 2020).

The SEM micrograph of silica fume presented in Figure 4 demonstrates extremely fine particles forming agglomerated clusters. The particles are significantly smaller than those observed in clay and glass waste, which is characteristic of silica fume produced as a by-product of silicon and ferrosilicon alloy production.



**Figure 4.** Silica fume: SEM micrograph with corresponding EDS elemental distribution maps (O, Si) and the EDS spectrum showing the elemental composition

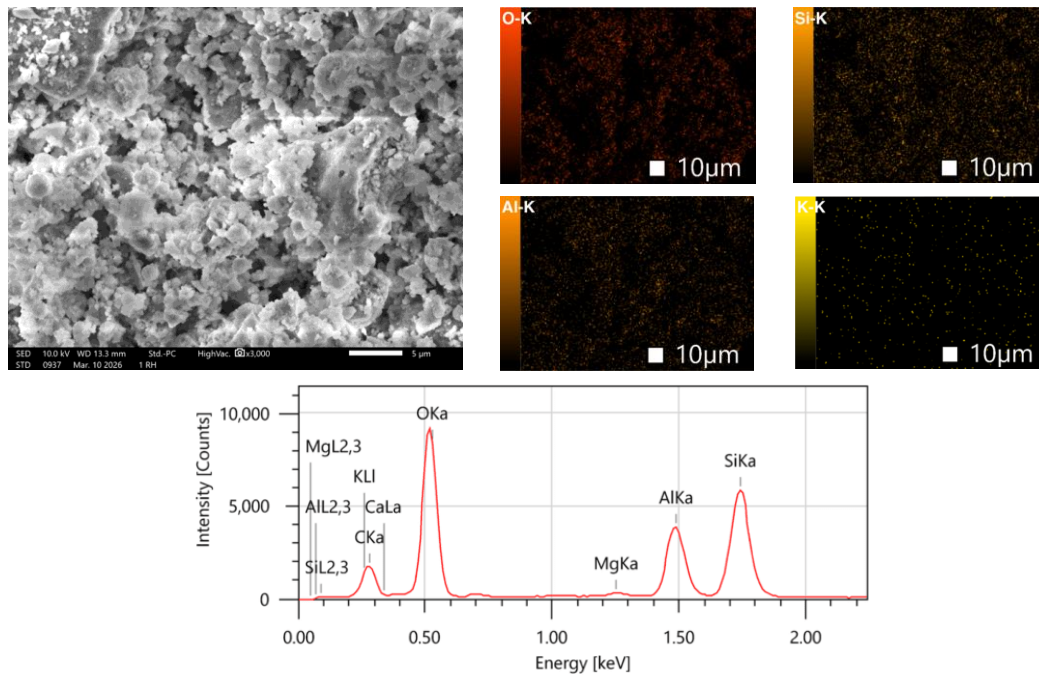
*Note – compiled by the authors*

EDS results demonstrate that silicon and oxygen are the predominant elements in the material, confirming the high silica content of the silica fume. Elemental mapping shows a uniform distribution of these elements across the analyzed area. The high specific surface area and fine particle size indicate that silica fume may exhibit high reactivity and can potentially enhance the microstructure of ceramic materials.

The extremely fine particle size and high silicon content observed in silica fume are typical characteristics of this industrial by-product. Previous studies have reported that silica fume can improve the microstructure and densification of ceramic materials due to its high reactivity and ultrafine particle size (Baspinar et al., 2010; Elmaghraby & Ismail, 2016; Kumar et al., 2021).

The SEM image of fly ash in Figure 5 reveals the presence of both spherical and irregularly shaped particles. The spherical morphology is typical for fly ash particles formed during coal combustion processes. Such particles are often hollow or solid microspheres that originate from the melting and rapid cooling of mineral components in coal.

EDS analysis indicates that the main elements in fly ash are silicon, aluminum and oxygen, which confirms its aluminosilicate nature. Minor quantities of magnesium, calcium and potassium are also detected. Elemental mapping demonstrates that these elements are distributed relatively uniformly across the particle surfaces.



**Figure 5.** Fly ash: SEM micrograph with corresponding EDS elemental distribution maps (O, Si, K, Al) and the EDS spectrum showing the elemental composition  
*Note – compiled by the authors*

The spherical morphology and aluminosilicate composition observed in fly ash are consistent with the typical characteristics of coal combustion by-products reported in the literature. Fly ash has been widely used as a supplementary raw material in ceramic and brick production due to its silica and alumina content and potential to improve the sintering process (Abbas et al., 2017; Sutcu et al., 2019; Yuan et al., 2022).

The elemental composition of the investigated materials determined by EDS analysis is presented in Table 1. The results confirm that the studied raw materials are mainly composed of silicon and oxygen, which are characteristic elements for aluminosilicate and silica-based materials.

**Table 1.** Elemental composition of the studied materials determined by EDS analysis, %

Material	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Na	Total
Clay	10.18	49.53	1.97	7.07	20.12	2.95	8.18		100
Glass	10.18	49.53	7.07	-	20.12	-	2.95	1.97	100
Silica fume	6.73	44.85	0.18	-	47.83	0.41	-	-	100
Fly	22.58	39.46	0.39	12.10	22.75	1.19	1.52	-	100

*Note – compiled by the authors*



The obtained results are consistent with previous studies reporting the successful utilization of industrial by-products such as fly ash, waste glass and silica-rich materials in ceramic production. These materials contribute to improved sintering behavior, densification and mechanical performance of fired clay products while simultaneously reducing the consumption of natural raw materials (Karayannis et al., 2017; Yadav et al., 2024; Yoon & Yun, 2005).

Overall, the SEM observations and EDS analysis confirm that the investigated materials are rich in silica and aluminosilicate phases. Clay and fly ash mainly contain aluminosilicate components, whereas waste glass powder and silica fume are characterized by a high silica content. These characteristics indicate that the studied materials can serve as promising raw materials and mineral additives in ceramic compositions, potentially enhancing densification and microstructural stability during firing and contributing to the development of sustainable ceramic construction products (Karayannis et al., 2017; Yadav et al., 2024; Yuan et al., 2022).

### 3.2 Practical implementation

The SEM and EDS analyses reveal that the studied materials exhibit distinct microstructural and chemical characteristics. Clay and fly ash are dominated by aluminosilicate components (Si, Al and O), while waste glass powder and silica fume contain a high proportion of silica.

Based on the obtained microstructural and elemental analysis, the investigated materials can be considered promising components for ceramic production. Clay can serve as the primary aluminosilicate matrix, while fly ash may act as an additional aluminosilicate source improving sintering behavior. Silica fume and waste glass powder, due to their high silica content and fine particle size, may function as mineral additives that enhance densification and microstructural stability during firing. Therefore, the use of these materials can contribute to the development of ceramic products based on industrial by-products and recycled materials, supporting sustainable construction practices.

## CONCLUSION

The microstructural and elemental characteristics of clay, waste glass powder, silica fume, and fly ash were investigated using scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The SEM analysis revealed distinct morphological features of the studied materials. Clay particles exhibited irregular plate-like structures typical of aluminosilicate minerals, while waste glass powder showed angular fractured particles. Silica fume consisted of extremely fine agglomerated particles, whereas fly ash contained both spherical and irregular particles characteristic of coal combustion products.

The EDS results confirmed that silicon and oxygen are the dominant elements in all investigated materials, while aluminum, magnesium, potassium, and calcium were detected in smaller amounts. The obtained results indicate that the studied materials are rich in silica and aluminosilicate components.

Overall, the investigated materials can be considered promising raw materials and mineral additives for ceramic compositions. Their chemical composition and microstructural characteristics may contribute to improved sintering behavior and the development of sustainable ceramic construction materials.

**CONFLICT OF INTEREST:** The authors declare no conflict of interest.

**FUNDING:** This article was prepared within the framework of the grant funding project for scientific research of the Ministry of Science and Higher Education under the topic BR28713711 – “Development of technologies and organization of production for innovative construction materials derived from industrial mining waste and local clay raw materials”.

**INFORMED CONSENT STATEMENT:** Written informed consent was obtained from all participants prior to their involvement in the study.

**DATA AVAILABILITY STATEMENT:** The data supporting the findings of this technical study are available from the corresponding author upon reasonable request.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the grant project BR28713711 – “Development of technologies and organization of production for innovative construction materials derived from industrial mining waste and local clay raw materials”. The authors also thank their colleagues for methodological support and helpful discussions, as well as the anonymous reviewers for their valuable comments that helped improve the quality of the article.

**STATEMENT ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES:** Generative artificial intelligence tools were used solely for language editing and improvement of the manuscript’s clarity. The authors take full responsibility for the content of the article, including the data, analysis, and conclusions.

## REFERENCES

- Abbas, S., Saleem, M. A., Kazmi, S. M. S., & Munir, M. J. (2017). Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: Mechanical and durability properties. *Journal of Building Engineering*, 14, 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.008>
- Ahmaruzzaman, M. (2010). A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(3), 327–363. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.003>
- Akinwumi, I. I., Ajayi, O. O., Joshua, O., Sani, R., Olofinnade, O. M., Awoyera, P. O., Ogunairo, T. O., Ogunwale, D. A., & Afolayan, O. D. (2019). Housing crisis: Waste glass-stabilized clay for use as fired clay bricks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 640(1), 012072. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/640/1/012072>
- Baspinar, M. S., Demir, I., & Orhan, M. (2010). Utilization potential of silica fume in fired clay bricks. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 28(2), 149–157. <https://doi.org/10.1177/0734242X09104385>
- Demir, I. (2009). Reuse of waste glass in building brick production. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 27(6), 572–577. <https://doi.org/10.1177/0734242X08096528>
- Elmaghraby, M. S., & Ismail, A. I. M. (2016). Effect of Silica Fume Addition and Firing Temperature on Physico-Mechanical Properties of Clay Bricks. *Interceram - International Ceramic Review*, 65(4–5), 166–172. <https://doi.org/10.1007/BF03401165>
- Karayannis, V., Moutsatsou, A., Domopoulou, A., Katsika, E., Drossou, C., & Baklavaridis, A. (2017). Fired ceramics 100% from lignite fly ash and waste glass cullet mixtures. *Journal of Building Engineering*, 14, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.09.006>
- Kumar, A., Kumar, R., Das, V., Jhatial, A. A., & Ali, T. H. (2021). Assessing the structural efficiency and durability of burnt clay bricks incorporating fly ash and silica fume as additives. *Construction and Building Materials*, 310, 125233. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125233>
- Lesovik, V. S., Zagorodnyuk, L. Kh., Djumaniyazov, Z. B., Boltabayev, D. Z., Xujiyazov, Sh. X., & Ruzimov, Yo. S. (2024). Influence of Waste Glass Powder on the Properties of Vitrified Bricks Based on Loess. *Glass and Ceramics*, 81(3–4), 118–122. <https://doi.org/10.1007/s10717-024-00669-y>
- Mao, L., Zhou, H., Peng, M., Hu, L., & Zhang, W. (2020). Effects of waste glass particle size on improving the property and environmental safety of fired brick containing electroplating sludge. *Construction and Building Materials*, 257, 119583. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119583>
- Mohajerani, A., Vajna, J., Cheung, T. H. H., Kurmus, H., Arulrajah, A., & Horpibulsuk, S. (2017). Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: A review.

- Construction and Building Materials, 156, 443–467. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.005>
- Saurabh Samander, S. S. (2013). Effect of Silica Fume on Fly Ash Cement Bricks—An Experimental Study. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 6(4), 14–18. <https://doi.org/10.9790/1684-641418>
- Sutcu, M., Erdogmus, E., Gencel, O., Gholampour, A., Atan, E., & Ozbakkaloglu, T. (2019). Recycling of bottom ash and fly ash wastes in eco-friendly clay brick production. Journal of Cleaner Production, 233, 753–764. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.017>
- Yadav, A. K., Ekka, P., Patel, E., & Bhattacharyya, S. (2024). Recycling of Fly Ash and Waste Glass to Fabricate Environment Friendly Fly Ash Bricks. Glass Physics and Chemistry, 50(6), 674–680. <https://doi.org/10.1134/S1087659623600874>
- Yoon, S.-D., & Yun, Y.-H. (2005). An advanced technique for recycling fly ash and waste glass. Journal of Materials Processing Technology, 168(1), 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.10.012>
- Yuan, Q., Robert, D., Mohajerani, A., Tran, P., & Pramanik, B. K. (2022). Utilisation of waste-to-energy fly ash in ceramic tiles. Construction and Building Materials, 347, 128475. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128475>
- Kuldeyev, E., Zhumadilova, Z., Zhagifarov, A., Tolegenova, A., Kuttybay, M., & Alikhan, A. (2025). Physicochemical properties of silica fume and fly ash from Tau-Ken Temir LLP and Pavlodar CHP for potential use in self-compacting concrete. Technobius, 5(1), 0076. <https://doi.org/10.54355/tbus/5.1.2025.0076>
- OpenAI. (2026, March 11). Assistance with language editing and text improvement for scientific manuscript preparation [Large language model]. ChatGPT. <https://chat.openai.com>

### Авторлар туралы мәліметтер

#### Информация об авторах

#### Information about authors



**Жумадилова Жанар Оразбековна** – PhD, Сәтбаев Университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Жұмаділова Жанар Оразбекқызы** – PhD, Сатпаев Университет, г. Алматы, Қазақстан

**Zhumadilova Zhanar** – PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: z.zhumadilova@satbayev.university,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9487-2018>,



**Орынбеков Елжан Серикович** – Техника ғылымдарының кандидаты, Сәтбаев Университеті, Алматы қ., Қазақстан

**Орынбеков Елжан Серікұлы** – Кандидат технических наук, Сатпаев Университет, г. Алматы, Қазақстан

**Orynbekov Yelzhan** – Candidate of technical sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: eljan\_79@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2131-6293>,



**Жугинисов Маратбек Турабайұлы** – Техника ғылымдарының докторы, Сәтбаев Университеті, Алматы қ., Қазақстан  
**Жүгінісов Маратбек Турабайұлы** – Доктор технических наук, Сатпаев Университет, г. Алматы, Казахстан  
**Zhuginisov Maratbek** – Doctor of technical sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: m.zhuginisov@satbayev.university,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5594-3653>,



**Төлегенова Әйгерім Қайратқызы** – PhD, Сәтбаев Университеті, Алматы қ., Қазақстан  
**Толегенова Айгерим Кайратовна** – PhD, Сатпаев Университет, г. Алматы, Казахстан  
**Tolegenova Aigerim** – PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: a.tolegenova@satbayev.university,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1312-4101>,



**Жагифаров Адлет Музафарұлы** – PhD, Сәтбаев Университеті, Алматы қ., Қазақстан  
**Жагифаров Адлет Музафарович** – PhD, Сатпаев Университет, г. Алматы, Казахстан  
**Zhagifarov Adlet** – PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: a.zhagifarov@satbayev.university,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8046-4697>,



**Нұрлыбаев Руслан Ерғалиұлы** – PhD, Сәтбаев Университеті, Алматы қ., Қазақстан  
**Нурлыбаев Руслан Ерғалиевич** – PhD, Сатпаев Университет, г. Алматы, Казахстан  
**Nurlybayev Ruslan** – PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: rusya\_nre@mail.ru,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0161-6256>

---



[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_7](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_7)

SRSTI 67.23.13

## TRAINING BIM SPECIALISTS: THE ROLE OF TRAINING AND PRODUCTION CENTERS

### БИМ МАМАНДАРЫН ДАЙЫНДАУ: ОҚУ-ӨНДІРІС ОРТАЛЫҚТАРЫНЫҢ РӨЛІ

### ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО BIM: РОЛЬ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕНТРОВ

B.E. Makhiyev <sup>1\*</sup>, A.V. Khapin <sup>1</sup>, V.V. Talapov <sup>2</sup>, M. Kulisz <sup>1</sup>, L.V. Kamenskikh <sup>1</sup>

<sup>1</sup>D. Serikbayev EKTU, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

<sup>2</sup>NGASU (Sibstrin), Novosibirsk, Russian Federation

\*Corresponding author: Махиев Бекболат Еспулович, e-mail: bmahiev@ektu.kz

#### keywords:

personnel training, BIM design, integration, training and production complexes, professional development

#### ABSTRACT

This article discusses a new technology for training personnel in BIM design. It analyzes the engineering staff of design organizations, which consists of experienced specialists who are older and have poor command of BIM programs, and young specialists who are proficient in computer technology but have no real design experience. Universities are encouraged to create BIM training and production complexes (BIM T&PC) with a high degree of integration between educational and production processes. Experienced employees of design organizations can teach special subjects at these centers on a part-time basis and supervise diploma projects or master's theses. The BIM T&PC is engaged in full-scale work on projects, parts of which will be the final projects of students who will become the personnel reserve of designers. This article describes the experience of using such a complex at the NPJS D. Serikbayev EK.

#### Түйінді сөздер:

кадрларды даярлау, BIM-жобалау, интеграция, оқу-өндірістік кешен, біліктілікті арттыру

#### ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада BIM-жобалауына арналған кадрларды даярлаудың жаңа технологиясы негізделді. BIM бағдарламаларын нашар меңгерген, бірақ құнды практикалық тәжірибесі бар тәжірибелі «жасы келген» мамандардан және компьютерлік техниканы меңгерген, бірақ нақты жобалау тәжірибесі жоқ жас мамандардан тұратын жобалау ұйымдарының инженерлік құрамына талдау жүргізілді. Жоғары оқу орындары жанынан оқу және өндірістік процестерді интеграциялаудың жоғары дәрежесі бар BIM оқу-өндірістік кешендерін (BIM УПК) құру ұсынылды. Осы орталықтардағы қосымша жобалау ұйымдарының тәжірибелі қызметкерлері арнайы пәндерді оқыта алады және дипломдық жобалауды немесе магистрлік диссертацияларды басқара алады. BIM УПК-де жобалар бойынша толыққанды жұмыс жүргізілуде, олардың бөліктері жобалаушылардың кадрлық резерві болатын студенттердің бітіру жұмыстары болады. Мұндай кешеннің жұмыс тәжірибесі «Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ» КЕАҚ-да келтірілген.



---

**Ключевые слова:**

подготовка кадров, BIM-проектирование, интеграция, учебно-производственный комплекс, повышение квалификации

**АННОТАЦИЯ**

В статье обосновывается новая технология подготовки кадров для BIM-проектирования. Проведен анализ инженерного состава проектных организаций, состоящих из опытных «возрастных» специалистов, слабо владеющих программами BIM, но имеющих ценный практический опыт, и молодых специалистов, владеющих компьютерной техникой, но не имеющей опыта реального проектирования. Предложено при вузах создавать учебно-производственные комплексы BIM (УПК BIM) с высокой степенью интеграции учебного и производственного процессов. Опытные сотрудники проектных организаций по совместительству в этих центрах могут преподавать специальные дисциплины и руководить дипломным проектированием или магистерскими диссертациями. В УПК BIM ведется полноценная работа над проектами, части которых будут выпускными работами студентов, которые будут кадровым резервом проектировщиков. Приводится опыт работы такого комплекса в НАО «ВКТУ имени Д. Серикбаева».

---

**INTRODUCTION**

One of the main factors hindering the widespread adoption of building information modelling (BIM) technologies is the insufficient level of training of qualified specialists, as well as the existence of organisational constraints arising at various stages of their implementation and application. The results of recent studies confirm the relevance of this problem. According to a survey conducted by the ERZ.RF portal in 2023 on the implementation of information modelling technologies, one of the priority tasks in the transition of the construction industry to BIM is the formation of an effective personnel training system (Itogi\_oprosa\_TIM, 2025).

According to the results of this study, 56.3% of respondents who do not use BIM in their professional activities and 63.4% of specialists who already use these technologies noted the need to improve the training system. The results indicate that, despite the growing interest in and need for BIM technologies, the current level of training for specialists remains insufficient and requires further development and improvement.

One of the main problems is the lack of specialists with the necessary competencies in BIM technologies. There is a shortage of trained personnel at all stages of a construction project's life cycle, including design, construction, and operation, which significantly limits the possibilities for the effective application of information modelling (Mishra A., Hasan A., Jha K. N 2024), (Ademci E., Gundes S., 2021).

An additional factor hindering the implementation of BIM is the resistance of specialists to traditional working methods. Many participants in the construction process prefer to use familiar design and construction technologies, viewing BIM as a complex and resource-intensive tool that requires significant time and organisational costs (Leśniak A., Górka M., Skrzypczak I., 2021)

In some cases, the use of BIM is perceived as an additional burden that does not provide immediate practical benefits, which reduces the motivation of specialists to master and use it (A. Adepoju A. O., Akanbi T., Adebambo H., Lawal F. M., 2023).

Another significant problem is the insufficient effectiveness of the existing system for training specialists. Educational programmes at higher education institutions and vocational training systems do not always provide practical skills in working with BIM technologies, which leads to a gap between the requirements of the construction industry and the level of training of graduates (Gamil Y., Rahman I. A. R., 2019). Software is constantly evolving: some systems strengthen their leading positions by expanding their functionality, while others eventually lose ground to their competitors (Talapov V.V., 2015).



Global practice shows that the effectiveness of BIM implementation is only 20% determined by the choice of software, while the main role (80%) is played by organisational, managerial and human resources factors, including the level of training of specialists (Talapov V.V., 2011).

Training specialists in the field of computer-aided design, taking into account the specifics of BIM, requires improvement and reorganisation of the structure of the educational process (Makhiiiev B.E., 2019). In this regard, it is important to define the current directions for the development of the BIM technology training system.

## **MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH**

The first direction is the peculiarities of training of existing engineering personnel in the transition to BIM.

The technology of information modeling implies joint and almost simultaneous work of all team members to create a model of a construction facility (Talapov V.V., 2022). This assumes, in addition to a good individual professional level of employees in their discipline, also:

- 1) a high level of understanding by each member of the design team of the goals and objectives of the work being performed, as well as modeling methods and regulations;
- 2) a high level of mastery by each employee of the software used in the work;
- 3) well-developed interaction of all participants of the information modeling process.

If the organization, first of all design organization, has established the goal to transfer its activities to work in BIM, then in the field of personnel it will have to raise all employees to the level of the above requirements. To do this, the following must be done.

1). Let's assume that professionally, in terms of design disciplines, all existing organization employees are sufficiently experienced and trained. However, they need help understanding the goals and objectives of the work being performed in light of the use of information modeling technology. This will require special training in the theoretical foundations of BIM.

It will be more difficult with methodologies and regulations, as they require BIM skills, but a well-thought-out information modeling process across the entire organization can help here. It is not easy, but without it, BIM will not be implemented in the organization.

2). With the mastery of the software at a high level is even more difficult. Practice shows that to achieve from all employees the same high level of proficiency in software use, even after repeated training, is not possible.

The situation is particularly challenging with older employees, who are the most experienced and valuable members of the workforce. This is not solely due to age, although the ability to quickly adapt to new technologies does diminish over time. The overall workload of these employees also plays a role, as does their established conservatism, which is linked to the increased responsibility for the work they perform, and their ability to work with "old" technologies, which has been honed to perfection and will now have to be almost completely dismantled.

So, problems arise with the most valuable employees, but these people cannot be lost in order to avoid lowering the professional level and image of the entire organization.

3). Well-developed teamwork is only possible if each member has sufficient individual mastery of information modeling technology, which is again problematic for experienced employees for the reasons described in the previous paragraph.

In addition, collective and well-organized interaction is required during information modeling, and this must be long-term, which is again problematic if the organization has not yet switched to BIM.

Thus, there are problems, and the most serious of them is the danger of losing experienced employees.

The second direction is the peculiarities of training new, young specialists.

No design organization can do without constantly replenishing its staff with new young employees. This becomes particularly important when transitioning to building information modeling technology, which requires employees who are already familiar with BIM concepts. Universities are responsible for training such specialists.

Let us consider university graduates according to the criteria outlined above. First of all, it is well known that their individual professional level in the relevant field of design, even if it is quite high, requires many years of training to reach the level required in the industry.

Now let's consider the requirements (Talapov V.V., 2016) for information modeling.

1. Even while still studying, young professionals can gain a thorough understanding of the goals and objectives, as well as the methods and regulations of BIM and the relationships between participants in the information modeling process, i.e., the theoretical foundations of BIM.

2. New specialists also tend to graduate from universities with a high level of proficiency in information modeling programs and general training in information technology.

3. University graduates have no serious experience of interacting with other information modeling process participants or of working on real projects.

Now let's compare "older employees" and young specialists in terms of their level of compliance with basic personnel requirements.

A brief description of the situation with BIM personnel for the positions considered during the transition of a design organization to building information modeling technology is summarized in the table below.

**Table 1.** Compliance of existing employees and young specialists with key staffing requirements

Key staffing requirements	"Old" employees	Young specialists
Mastery of their design discipline	Yes	No
Understanding of BIM tasks and techniques	No	Yes
Individual BIM software proficiency	No	Yes
Experience in collective use of BIM	No	No
<i>Note – compiled by the authors</i>		

So, it is clear that neither existing nor new specialists fully meet the requirements for the transition to BIM. But it is also clear that they can complement each other with their knowledge and skills. However, for this to happen, the training of young specialists in higher education must go hand in hand with the training of existing employees of design organizations through advanced training courses and interaction with them, for example, by involving them as teachers of specialized disciplines.

Building Information Modelling (BIM) technology only delivers its full benefits when multiple project participants actively share models, data and decisions. Collaborative participation eliminates fragmentation, provides control and traceability, and results in better coordination, fewer conflicts and improved project outcomes (Chen H., Ying F., 2020).

However, today, the training of specialists in universities and the additional training of existing employees are carried out in parallel, but not in a coordinated manner, with students from different categories having no contact with each other.

This approach to training specialists, in which students are taught everything first and then sent out to work, is entirely consistent with centuries-old traditions and can rightly be called classic. Moreover, it used to be quite effective. However, modern industrial technologies, especially information technologies, show that this view of training is outdated and no longer



produces the desired results (Mahiev B.E.,2019, Talapov V.V.,2022). Therefore, if this approach is not changed, the training of BIM specialists will continue to be ineffective and out of step with the demands of the modern world.

Based on the above analysis, we will formulate proposals for adapting the process of training BIM specialists in the modern technological conditions of the design and construction industry.

1. Three-stage training.

Comprehensive training in information modeling technology should be carried out in three stages:

1) theoretical training in the basics of BIM (including familiarization with the basic concepts and principles of information modeling, as well as various ideas for implementation in the process of studying international experience using BIM). The main task of theoretical training is to teach students to think in terms of information modeling (Underwood J., Isikdag U., 2010);

2) familiarization with the main information modeling software (developing skills in selecting such software for specific tasks and acquiring individual expertise in its use);

3) practical mastery of BIM (participation in collective work on projects, improvement of individual skills, and practice in methods of teamwork)

2. Training specialists in close cooperation between educational institutions and design and construction organizations.

In fact, this involves creating BIM training and production complexes (BIM TPCs) with a high degree of integration between educational and production processes.

The most expedient approach is to establish educational and industrial BIM complexes at universities with the participation of one or more design and construction organisations interested in implementing this technology. In this case, students are not limited to short-term internships but are involved in real production processes over a long period of time. Along with their main professional activities, specialists from design and construction organisations can participate in the educational process by teaching specialised disciplines or providing scientific guidance for graduation and master's theses, which contributes to joint learning and the exchange of practical experience with students.

At the same time, the structure of the educational and production BIM complex requires further development, since one university can interact with several organisations at the same time. In addition, the creation of such a complex involves improving the organisation of the educational process and attracting teachers with a new level of training who have competencies in the field of information modelling technologies.

3. Joint theoretical training within the BIM TPC.

This approach will save time and resources and teach everyone to think in terms of information modeling.

4. Initial training in software programs is best conducted separately.

Students will still outpace organization employees in mastering BIM software, but this is actually a good thing. Later, while working together on projects, they will pass on their advanced knowledge and skills in using computer software to organization employees, who will in turn share their additional knowledge of design disciplines with the students.

5. The process of collective work on a project should bring students and employees together.

To do this, small work cells (one employee + 3-5 students) should be created among students and organization employees, and these cells should be treated as responsible production units instead of individual employees being responsible for the work done. This is possible within the BIM TPC.

It is in these cells that the mutual exchange of experience between students and practicing specialists should take place (lines 1-3 of the table).

6. Full-scale work on the project within the BIM EPC. It seems optimal for this work to be carried out during the final year of students' studies at the university, with the part of the project they complete being considered as their final qualification work.

At the same time, all project participants (who are also continuing their education) gain real experience in the comprehensive use of BIM under the guidance of the customer (Talapov V.V., Nesipbaev, A.S., Khapin, A.V., Mahiev, B.E., 2022), students find themselves in the real working environment of a potential employer, and design and construction organizations, in addition to improving the qualifications of their specialists, also have the opportunity to recruit new personnel.

The implementation of this concept at our university began with the creation of scientific and production centers, in particular, the «BIM Scientific and Production Center», as a precursor to the BIM TPC. Initially, the main task of the center was to assist construction industry production and design organizations in surveying and seismically reinforcing existing buildings and structures. This task was related to the need to assess the seismic safety of existing buildings located in earthquake-prone areas of the Republic of Kazakhstan after the seismic zoning map was changed. As a rule, existing buildings were constructed before the new maps were introduced, and mandatory requirements for the design of buildings and structures were not provided for.

With the emerge of new projects designed and built using BIM technologies, information models started to be used to assess the seismic safety of such buildings. For example, during the upgrade of an enrichment plant in the city of Aktogay in the East Kazakhstan region, collisions were found when installing new equipment, which allowed the location of the main process pipeline to be refined, and its routing was changed (Hapin A.V., Mahiev B.E., Kenetbaev B.S., 2025). At the same time, work was carried out to assess the seismic safety of the building, as after it was put into operation, the seismic zoning map was changed and the seismicity of the construction site was increased from 6 to 7 points.

Methods based on the analysis of the dynamic characteristics of frames are used to assess the technical condition of existing buildings. This task was solved at the center with the participation of specialists from Kazzinc LLP. It was necessary to create a 3D model of the frame and examine its behavior under impact dynamic loads. A modal diagram developed at the center was used to assess the frame's vibration parameters. An experiment conducted by Kazzinc LLP specialists confirmed the results of the frame inspection: based on the analysis of vibration periods and logarithmic damping decrements, the degree of wear of the building was established and the need for its replacement was confirmed.

Work on the inspection of buildings and structures can be carried out in collaboration with companies engaged in similar research. For example, the results of the survey of steel structures of the railway bridge across the Irtysh River, carried out by Ulbatechcenter LLP, were presented at the BIMAC international conference in St. Petersburg (Hapin A.V., Mahiev B.E., Udarcova A.N., 2023).

The center uses various digital technologies, including video cameras, to inspect the technical condition of buildings. Expanding the use of video cameras made it possible to reliably determine the causes of roof damage during a gusty squall (Hapin A.V., Mahiev B.E., Udarcova A.N., 2023).

The center has carried out a series of works on the digitization of existing buildings in order to create information models containing technical attributes necessary for the operational stage, such as those characterizing the condition of utility networks. This work has been carried out for the educational buildings of our university by master's degree students of the Construction educational program under the guidance of the center's teachers.



The ongoing reconstruction of existing buildings using BIM technologies creates a wide range of tasks that are performed by master's degree students. In recent years, the topics of master's theses have been developed in this direction (Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., 2011., Hardin B., 2009 ).

Thus, the center implements the integration of educational and production processes. Employees from manufacturing companies who are proficient in digital methods of building design using BIM technologies are invited to teach master's degree students. When solving practical problems, the center has been able to combine the work of senior teachers with a good knowledge of technical issues and master's degree students who are quickly mastering BIM technologies while still at university. The BIM models creations are complete with technical attributes as a result of a joint project between the older generation and young specialists, an information model suitable for building operation is born.

## RESULTS AND DISCUSSION

A little about global experience.

In 2012, one of the world's leading developers of BIM software, the American company Bentley Systems, and the British company Crossrail Ltd (construction of the Crossrail high-speed railway in London) created a special training and information academy. The academy began to collect, develop, and disseminate best practices in the field of building information modeling not only among Crossrail employees, but also among project contractors. The fact is that Crossrail is a grandiose pilot project for the UK to test the application of BIM at all stages of the life cycle of construction projects. At the same time, it is the largest and most complex infrastructure project in Europe in recent decade.

The Bentley Crossrail BIM Academy can be described as Crossrail's training and consulting division, which is continuously supported by Bentley Systems. In fact, it is a joint venture between two companies that are equally interested in mutual success, as Bentley Systems' BIM programs are the main tools for implementing information modeling technology in the project, i.e., for executing the project itself. The emergence of such an academy is linked to a clear understanding of the well-known fact that the success of BIM implementation depends 20% on the right software and 80% on the right organization of its use.

During its first two years, the Bentley Crossrail BIM Academy, which had a team of 10 consultant instructors, trained (brought up to the required professional level in the use of BIM) more than 1,800 specialists from the main Crossrail company and its subcontractors. The training process itself was clearly divided into two stages: in the classroom and on the job. In the first stage, students gained experience in using the software under the guidance of instructors. In the second stage, instructors visited their students' workplaces and worked with them to find solutions to specific production tasks.

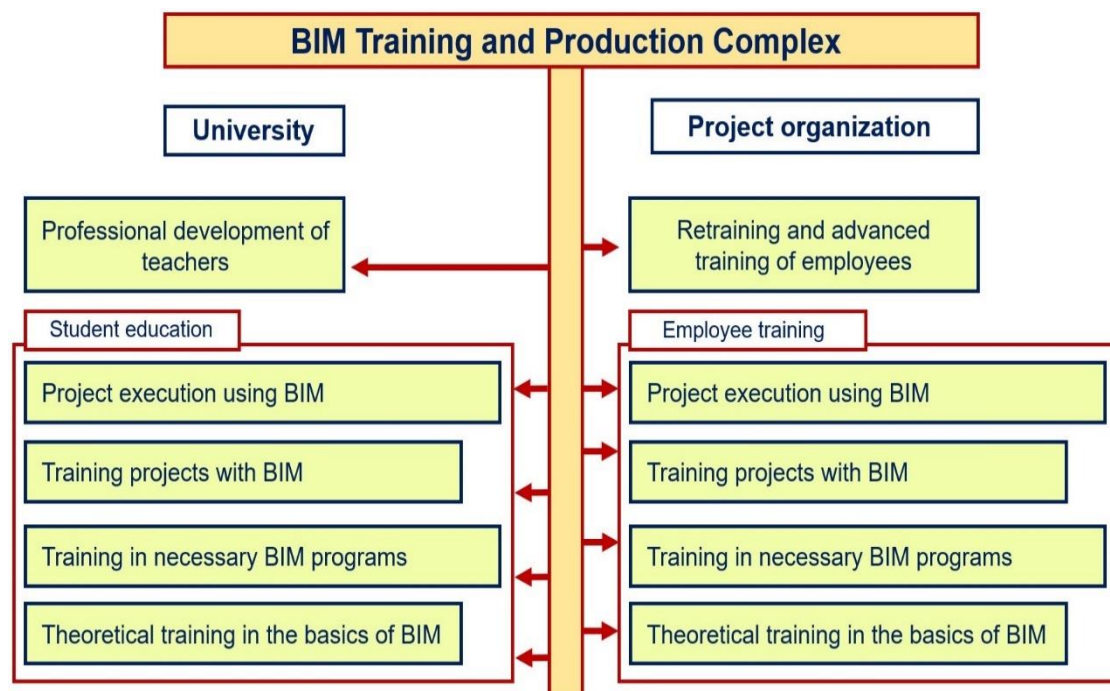
Of course, Crossrail is a large company and deserves ongoing supervision from the vendor. However, the successful experience of the Bentley Crossrail BIM Academy led to the creation of similar departments in the HS2 London-Birmingham high-speed rail project in the UK, as well as in Shell's US division, albeit under different names. Bentley Systems then moved on to implement a large program to open similar training centers in India, China, and a number of other countries in partnership with public and private companies under the umbrella of the Bentley BIM Advancement Academy.

It is easy to see that Bentley Systems' training and consulting programs are a type of research and production complex, as discussed in this article, but they are aimed only at retraining and upgrading the skills of existing personnel, while the BIM Scientific and Production Center, created on the basis of a university, can primarily train new personnel for the construction industry.

## CONCLUSION

The formation of BIM training and production complexes (BIM SPC) requires comprehensive organisational and methodological support from higher education institutions, as well as the participation of design, construction, and administrative organisations interested in implementing information modelling technologies. The implementation of this concept involves improving the existing structure of interaction and reorganising production and educational processes based on modern innovative approaches. An important condition for the effective functioning of such complexes is the involvement of highly qualified practitioners with expertise in BIM technologies in the educational process.

This provides enormous benefits both in terms of training new personnel to use information modeling technology and in terms of retaining “old” personnel by integrating them organically into new technological relationships.



**Figure 1.** The following scheme delineates the manner in which interaction is to be conducted between the University and the project organization through the BIM Training and Production Complex

*Note – compiled by the authors*

**CONFLICT OF INTEREST:** The authors declare no conflict of interest.

**FUNDING:** This research received no external funding.

**INSTITUTIONAL REVIEW BOARD STATEMENT:** Not applicable.

**INFORMED CONSENT STATEMENT:** Not applicable.

**DATA AVAILABILITY STATEMENT:** All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The authors express their gratitude to colleagues for methodological support, useful discussions, and assistance during the preparation of this research. The authors also thank the reviewers for their valuable comments and recommendations, which helped improve the quality of the manuscript.



**STATEMENT ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES:** The authors used ChatGPT only for language editing and improvement of the clarity of the manuscript. No AI tools were used to generate research data, perform experiments, interpret results, or formulate scientific conclusions. All final content was reviewed and approved by the authors.

## REFERENCES

- Результаты опроса «Внедрение технологий информационного моделирования в России», проведенного порталом ЕРЗ.РФ в 2023 г. URL: [https://ancb.ru/files/ck/1686743760\\_Itoqi\\_oprosa\\_TIM\\_fin.pdf](https://ancb.ru/files/ck/1686743760_Itoqi_oprosa_TIM_fin.pdf) (дата обращения: 28.02.2025). // Rezul'taty oprosa «Vnedrenie tekhnologiy informatsionnogo modelirovaniya v Rossii», provedennogo portalom ERZ.RF v 2023 g. [Results of the survey “Introduction of information modeling technologies in Russia” conducted by the ERZ.RF portal in 2023]. URL: [https://ancb.ru/files/ck/1686743760\\_Itoqi\\_oprosa\\_TIM\\_fin.pdf](https://ancb.ru/files/ck/1686743760_Itoqi_oprosa_TIM_fin.pdf) (accessed: 28.02.2025). (In Russ.)
- Mishra, A., Hasan, A., & Jha, K. N. (2024). A holistic evaluation of BIM implementation barriers in the Indian construction industry: Pre- and post-adoption perspectives. *International Journal of Construction Education and Research*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/15578771.2024.2320108>
- Ademci, E., & Gundes, S. (2021). Individual and organisational level drivers and barriers to building information modelling. *Journal of Construction in Developing Countries*, 26(1), 89–109. <https://doi.org/10.21315/JCDC2021.26.1.5>
- Leśniak, A., Górka, M., & Skrzypczak, I. (2021). Barriers to BIM implementation in architecture, construction, and engineering projects – The Polish study. *Energies*, 14(8), 2090. <https://doi.org/10.3390/EN14082090>
- Adepoju, A.O., Akanbi, T., Adebambo, H., & Lawal, F.M. (2023). Assessment of barriers influencing the adoption of building information modeling in the construction industry in Lagos State, Nigeria. *African Journal of Science Policy and Innovation Management*, 4(1), 60–77. <https://doi.org/10.69798/42346447>
- Gamil, Y., & Rahman, I. A. R. (2019). Awareness and challenges of building information modelling (BIM) implementation in the Yemen construction industry. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 17(5), 1077–1084. <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2019-0063>
- Талапов, В.В. BIM-технология: сущность и основы внедрения информационного моделирования зданий. Москва, 2015. 410 с. URL: [https://www.researchgate.net/publication/387414709\\_Svaz\\_tehnologii\\_informacionnogo\\_modelirovaniya\\_i\\_kadastrivogo\\_uceta\\_pri\\_rabote\\_s\\_obektami\\_kapitalnogo\\_stroitelstva](https://www.researchgate.net/publication/387414709_Svaz_tehnologii_informacionnogo_modelirovaniya_i_kadastrivogo_uceta_pri_rabote_s_obektami_kapitalnogo_stroitelstva) // Talapov, V. V. BIM-tehnologiya: sushchnost' i osnovy vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy [BIM technology: The essence and basics of implementing building information modeling]. Moscow, 2015. 410 p. URL: [https://www.researchgate.net/publication/387414709\\_Svaz\\_tehnologii\\_informacionnogo\\_modelirovaniya\\_i\\_kadastrivogo\\_uceta\\_pri\\_rabote\\_s\\_obektami\\_kapitalnogo\\_stroitelstva](https://www.researchgate.net/publication/387414709_Svaz_tehnologii_informacionnogo_modelirovaniya_i_kadastrivogo_uceta_pri_rabote_s_obektami_kapitalnogo_stroitelstva) (In Russ.)
- Талапов, В. В. Основы BIM: введение в технологию информационного моделирования зданий. Москва, 2011. 392 с. URL: [https://vtome.ru/knigi/design\\_i\\_arhitektura/191018-osnovy-bim-vvedenie-v-informacionnoe-modelirovanie-zdaniy.html](https://vtome.ru/knigi/design_i_arhitektura/191018-osnovy-bim-vvedenie-v-informacionnoe-modelirovanie-zdaniy.html) // Talapov, V. V. Osnovy BIM: vvedenie v tekhnologiyu informatsionnogo modelirovaniya zdaniy [Fundamentals of BIM: An introduction to building information modeling technology]. Moscow, 2011. 392 p. URL: [https://vtome.ru/knigi/design\\_i\\_arhitektura/191018-osnovy-bim-vvedenie-v-informacionnoe-modelirovanie-zdaniy.html](https://vtome.ru/knigi/design_i_arhitektura/191018-osnovy-bim-vvedenie-v-informacionnoe-modelirovanie-zdaniy.html) (In Russ.)

- Махиев, Б.Е., Талапов, В.В., & Хапин, А.В. (2019). Компьютерное проектирование: проблема выбора предмета обучения. Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 4, 155–157. URL: <https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/issue/view/63> // Makhiev, B.E., Talapov, V.V., & Khapin, A.V. (2019). Komp'yuternoe proektirovanie: problema vybora predmeta obucheniya [Computer-aided design: The problem of choosing the subject of training]. Vestnik VKGTU im. D. Serikbaeva [Bulletin of D. Serikbayev EKSTU], 4, 155–157. URL: <https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/issue/view/63> (In Russ.)
- Махиев, Б.Е., Талапов, В.В., & Хапин, А.В. (2019). Послесловие к BIM-форуму: кого и кому учить BIM-технологиям проектирования. Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 4, 157–160 // Makhiev, B.E., Talapov, V.V., & Khapin, A.V. (2019). Posleslovie k BIM-forumu: kogo i komu učit' BIM-tekhnologiyam proektirovaniya [Afterword to the BIM Forum: Whom and who should teach BIM design technologies]. Vestnik VKGTU im. D. Serikbaeva [Bulletin of D. Serikbayev EKSTU], 4, 157–160. (In Russ.)
- Талапов, В.В. (2022). Основные проблемы при обучении BIM, которые приводят к провалу внедрения технологии информационного моделирования. САПР и графика, 8, 11–22. URL: <https://sapr.ru/article/26447> // Talapov, V.V. (2022). Osnovnyye problemy pri obuchenii BIM, kotorye privodyat k provalu vnedreniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya [The main problems in BIM training that lead to the failure of implementing information modeling technology]. SAPR i grafika [CAD and Graphics], 8, 11–22. URL: <https://sapr.ru/article/26447> (In Russ.)
- Талапов, В.В. (2016). Некоторые принципы, лежащие в основе BIM. Известия высших учебных заведений. Строительство, 4(688), 108–114. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-obschey-sheme-informatsionnoy-modeli-obekta-nedvizhimosti> // Talapov, V. V. (2016). Nekotorye printsipy, lezhashchie v osnove BIM [Some principles underlying BIM]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction], 4(688), 108–114. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-obschey-sheme-informatsionnoy-modeli-obekta-nedvizhimosti> (In Russ.)
- Chen, H., & Ying, F. (2020). Deepening application and practice of BIM based on smart city in cost control and cost collaborative management. <https://doi.org/10.1109/ICITBS49701.2020.00029>
- Underwood, J., & Isikdag, U. (2010). Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies. Herhey, NJ. 715 p. URL: [https://www.researchgate.net/publication/282032291\\_Handbook\\_of\\_Research\\_on\\_Building\\_Information\\_Modeling\\_and\\_Construction\\_Informatics\\_Concepts\\_and\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/282032291_Handbook_of_Research_on_Building_Information_Modeling_and_Construction_Informatics_Concepts_and_Technologies)
- Талапов, В.В., Несипбаев, А.С., Хапин, А.В., & Махиев, Б.Е. (2022). Ведущая роль заказчика в организации процесса информационного моделирования. Вестник ВКТУ, 1, 111–119. URL: [https://geocartography.ru/sites/default/files/sgugit/article\\_pdf/2018.2.211-218.pdf](https://geocartography.ru/sites/default/files/sgugit/article_pdf/2018.2.211-218.pdf) // Talapov, V.V., Nesipbaev, A.S., Khapin, A.V., & Makhiev, B. E. (2022). Vedushchaya rol' zakazchika v organizatsii protsessa informatsionnogo modelirovaniya [The leading role of the customer in the organization of the information modeling process]. Vestnik VKTU [Bulletin of D. Serikbayev EKTU], 1, 111–119. URL: [https://geocartography.ru/sites/default/files/sgugit/article\\_pdf/2018.2.211-218.pdf](https://geocartography.ru/sites/default/files/sgugit/article_pdf/2018.2.211-218.pdf) (In Russ.)
- Хапин, А.В., Махиев, Б.Е., & Кенетбаев, Б.С. (2025). Примеры применения цифровых технологий при натурных обследованиях зданий и сооружений. Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VIII Международной научно-практической конференции, под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 20-26. <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2025.004.END.MLESNU> // Khapin, A.V., Makhiev, B.E., & Kenetbaev, B.S. (2025). Primery primeneniya tsifrovyykh tekhnologiy pri naturnykh obsledovaniyakh zdaniy i sooruzheniy [Examples of the

- application of digital technologies in field surveys of buildings and structures]. *Informatsionnoe modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury: materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Information modeling in construction and architecture tasks: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference], ed. by A.A. Semenov. St. Petersburg: SPbGASU, 20-26. <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2025.004.END.MLESNU> (In Russ.)
- Хапін, А.В., Махиев, Б.Е., & Ударцева, А.Н. (2023). Использование BIM-модели производственного здания при реконструкции. BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VI Международной научно-практической конференции, под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 13–19. <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2023.END.MLESNU> // Khapin, A.V., Makhiev, B.E., & Udartseva, A.N. (2023). Ispol'zovanie BIM-modeli proizvodstvennogo zdaniya pri rekonstruktsii [Use of a BIM model of an industrial building during reconstruction]. *BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury: materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [BIM modeling in construction and architecture tasks: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference], ed. by A.A. Semenov. St. Petersburg: SPbGASU, 13–19. <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2023.END.MLESNU> (In Russ.)
- Хапін, А.В., Махиев, Б.Е., Ударцева, А.Н., & Кангалакова, К.Ж. (2023). Практическое применение BIM-технологий при обследовании технического состояния зданий. Вестник ВКТУ, 3, 146–155. // Khapin, A.V., Makhiev, B.E., Udartseva, A.N., & Kangalakova, K. Zh. (2023). Prakticheskoe primenenie BIM-tekhnologiy pri obsledovanii tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy [Practical application of BIM technologies in the inspection of the technical condition of buildings]. *Vestnik VKTU* [Bulletin of D. Serikbayev EKTU], 3, 146–155. (In Russ.)
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook*. 2nd ed. NJ: Wiley. 626 p.
- Hardin, B. (2009). *BIM and construction management*. NJ: Wiley. 340 p. URL: [https://openlibrary.org/books/OL23079533M/BIM\\_and\\_construction\\_management](https://openlibrary.org/books/OL23079533M/BIM_and_construction_management)
- Официальный сайт Crossrail. URL: <https://www.crossrail.co.uk> // Ofitsial'nyy sayt Crossrail [Official website of Crossrail]. URL: <https://www.crossrail.co.uk>
- Официальный сайт Bentley. URL: <https://www.bentley.com> // Ofitsial'nyy sayt Bentley [Official website of Bentley]. URL: <https://www.bentley.com>

### Авторлар туралы мәліметтер

#### Информация об авторах

#### Information about authors



**Махиев Бекболат Еспулович** – «Құрылыстағы BIM-жобалау» ғылыми-өндірістік орталығының жетекші ғылыми қызметкері, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

**Махиев Бекболат Еспулович** – ведущий научный сотрудник научно-производственного «BIM-проектирование в строительстве», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

**Makhiyev Bekbolat** – Senior Researcher at the Scientific and Production Centre for BIM Design in Construction, D. Serikbayev East Kazakhstan, Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E- mail: [bmahiev@ektu.kz](mailto:bmahiev@ektu.kz)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7345-3930>



**Хапин Александр Владимирович** – «Құрылыстағы BIM-жобалау» ғылыми-өндірістік орталығының басшысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан,  
E-mail: ahapin@ektu.kz

**Хапин Александр Владимирович** – Руководитель научно-производственного центра «BIM-проектирование в строительстве», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

**Khapin Alexandr** - Head of the Scientific and Production Center for BIM design in Construction, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

E-mail: ahapin@ektu.kze-mail

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3693-9277>



**Талапов Владимир Васильевич** – Новосибирск мемлекеттік сәулет-құрылыс университетінің ақпараттық жүйелер және технологиялар кафедрасының доценті, Новосибирск, Ресей Федерациясы.

**Талапов Владимир Васильевич** – доцент кафедры информационных систем и технологий Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета, Новосибирск, Российская Федерация.

**Talapov Vladimir** – Associate Professor, Department of Information Systems and Technologies, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russian Federation.

E-mail: talapoff@yandex.ru



**Monica Kulisz** – Люблин технологиялық университетінің басқару факультеті кәсіпорындарды ұйымдастыру кафедрасының доценті, Люблин қ., Польша.

**Monica Kulisz** – доцент кафедры организации предприятий факультета управления Люблинского технологического университета, г. Люблин, Польша

**Monica Kulisz** – Associate Professor, Department of Business Organization, Faculty of Management, Lublin University of Technology, Lublin, Poland

E-mail: m.kulisz@pollub.pl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8111-2316>



**Каменских Лариса Валентиновна** – сәулет және құрылыс мектебінің оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

**Каменских Лариса Валентиновна** – преподаватель школы архитектуры, строительства и энергетики, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Kamenskikh Larisa** – lecturer of the School of Architecture, Civil Engineering and Energy, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: lkamenskikh@ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1304-1579>



[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_8](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_8)

МРНТИ 67.09.00

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОДТОПЛЕНИЯ НА ДЕФОРМАЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ В КАРАГАНДЕ

### ҚАРАҒАНДЫ ҚАЛАСЫНДАҒЫ ТҮРҒЫН ҮЙ ҒИМАРАТЫ ІРГЕТАСЫНЫҢ ДЕФОРМАЦИЯЛАРЫНА СУ АЛУДЫҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FLOODING ON FOUNDATION DEFORMATIONS OF A RESIDENTIAL BUILDING IN KARAGANDA

Е.Е. Оразалы <sup>1</sup>, Д.Т. Токанов <sup>1\*</sup>, А.Т. Мухамеджанова <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Карагандинский Технический Университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

\*Автор-корреспондент: Токанов Данияр Токанович, e-mail: tokanov-daniyar@mail.ru

#### Ключевые слова:

ленточный фундамент,  
осадка, подтопление,  
грунты основания,  
уровень подземных вод,  
дренаж.

#### АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты комплексного обследования технического состояния жилого здания с ленточными фундаментами, эксплуатируемого в условиях повышенной влажности и подтопления в микрорайоне «Восток-2» города Караганды. Исследование выполнено с применением визуальных, инструментальных и расчетных методов. Установлено, что модуль деформации супеси при естественной влажности составляет 11,8 МПа, а при водонасыщении снижается до 5,9 МПа. Расчетная осадка фундамента при полном водонасыщении достигает 12,25 см, что превышает нормативное значение 10 см. Определено, что основная часть деформаций формируется в верхнем слое грунта. В результате расчетов установлены минимальная мощность незамоченного несущего слоя 1,11 м и минимальная глубина водопонижения 3,71 м, обеспечивающие нормативную устойчивость основания. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании дренажных систем и эксплуатации зданий при подтоплении их основания.

#### Түйінді сөздер:

таспалы іргетас,  
іргетастың шөгугі, жер  
асты суларының әсері,  
негіз топырақтары, жер  
асты суының деңгейі,  
дренаж жүйесі.

#### ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада Қарағанды қаласының «Восток-2» шағынауданында орналасқан, жоғары ылғалдылық пен жер асты суларының көтерілуі жағдайында пайдаланылып жатқан таспалы іргетастары бар тұрғын үй ғимаратының техникалық жай-күйін кешенді зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеу визуалды, аспаптық және есептік әдістерді қолдану арқылы жүргізілді. Табиғи ылғалдылық жағдайында супесь топырағының деформация модулі 11,8 МПа-ны құрайтыны, ал суға толық қаныққан кезде 5,9 МПа-ға дейін төмендейтіні анықталды. Толық суға қанығу жағдайындағы іргетастың есептік шөгугі 12,25 см-ге жетіп, нормативтік мән – 10 см-ден асып түсетіні көрсетілді. Деформациялардың негізгі бөлігі топырақтың жоғарғы қабатында



қалыптасатыны анықталды. Есептеулер нәтижесінде негіздің нормативтік тұрақтылығын қамтамасыз ететін суға қанықпаған тірек қабатының ең аз қалыңдығы 1,11 м және суды төмендетудің ең аз тереңдігі 3,71 м екені белгіленді. Алынған нәтижелер іргетастары су басу жағдайында болатын ғимараттарды пайдалану және дренаждық жүйелерді жобалау кезінде қолданылуы мүмкін.

---

**keywords:**

strip foundation,  
foundation settlement,  
groundwater flooding,  
foundation soils,  
groundwater level,  
drainage system.

**ABSTRACT**

The article presents the results of a comprehensive assessment of a residential building with strip foundations operating under high moisture and groundwater flooding in the Vostok-2 microdistrict of Karaganda. The study was conducted using visual, instrumental, and analytical methods. It was found that the deformation modulus of sandy loam under natural moisture conditions is 11.8 MPa, while under water-saturated conditions it decreases to 5.9 MPa. The calculated foundation settlement under full water saturation reaches 12.25 cm, exceeding the normative value of 10 cm. It was determined that most deformations are formed in the upper soil layer. Calculations showed that the minimum thickness of the unsaturated bearing layer is 1.11 m, and the minimum groundwater lowering depth is 3.71 m, ensuring foundation stability. The obtained results can be used in the design of drainage systems and building operation under flooding conditions.

---

**ВВЕДЕНИЕ**

В современных условиях эксплуатации зданий и сооружений особую актуальность приобретает проблема обеспечения их конструктивной и эксплуатационной надежности на протяжении всего жизненного цикла (Vitorio Junior et al., 2025; Tažiková et al., 2023). Значительная часть жилого фонда крупных промышленных городов Казахстана представлена зданиями массовой застройки 1970–1980-х годов, возведенными по типовым проектам с применением кирпичных несущих стен и ленточных фундаментов, проектирование которых во многих случаях выполнялось без достаточного учета сложности инженерно-геологических условий и возможных изменений гидрогеологической обстановки в процессе эксплуатации (Sarzhhanov & Schurch, 2023).

Одним из наиболее неблагоприятных факторов, влияющих на техническое состояние таких зданий, является дополнительное увлажнение и подтопление грунтов основания (Semko et al., 2025). В условиях распространения песчано-глинистых четвертичных отложений и набухающих элювиальных глин повышение влажности приводит к снижению прочностных и деформационных характеристик грунтов, развитию неравномерных осадок фундаментов и формированию трещин в несущих конструкциях (Wang et al., 2024; Alnmr & Ray, 2024).

Данные процессы, как правило, носят накопительный характер и длительное время могут развиваться без выраженных внешних признаков (Chou & Hung, 2021).

Практика технического обследования показывает, что изменение гидрогеологических условий в городской застройке нередко обусловлено совокупностью природных и техногенных факторов, включая утечки инженерных коммуникаций, нарушение систем водоотведения, разрушение отмосток и неудовлетворительное состояние подвальных помещений (Semko et al., 2025; Wang et al., 2024; Alnmr & Ray, 2024; Chou & Hung, 2021; Dastpak et al., 2023). В сочетании с отсутствием эффективных мероприятий по защите фундаментов от воздействия грунтовых вод это приводит к интенсификации деформационных процессов и снижению несущей способности строительных конструкций (Li et al., 2025).



Особенно уязвимыми в подобных условиях оказываются здания, конструктивная схема которых не предусматривает деформационные швы и специальные меры по компенсации неравномерных осадок (Patrício et al., 2024). Возникающие деформации имеют выраженный пространственный характер и проявляются в виде сквозных трещин, нарушений сопряжений несущих элементов и снижения пространственной жесткости здания (Florkowska et al., 2026; Wang et al., 2025).

В этой связи особое значение приобретает проведение комплексных визуальных, инструментальных и расчетных обследований, направленных на установление причинно-следственной связи между состоянием конструкций, инженерно-геологическими условиями и режимом эксплуатации здания (Zhang et al., 2025; Lollino et al., 2015).

Совмещение результатов полевых наблюдений, лабораторных испытаний и расчетного анализа позволяет получить количественную оценку влияния увлажнения грунтов на деформационное поведение основания (Saliba et al., 2025; Ge et al., 2024).

Настоящая статья основана на результатах экспертного обследования пятиэтажного кирпичного жилого дома с подвалом и ленточными фундаментами, расположенного в микрорайоне «Восток-2» города Караганды и введенного в эксплуатацию в 1983 году. Площадка строительства характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, включающими обводненные четвертичные отложения и набухающие глинистые грунты.

В ходе исследования выполнена оценка изменения деформационных характеристик грунтов при водонасыщении, расчет осадок основания и обоснование параметров водопонижения. Установлено, что при увлажнении модуль деформации грунта снижается более чем в два раза, а расчетная осадка фундамента превышает нормативные значения, что требует применения инженерных мероприятий по стабилизации основания.

Целью настоящей работы является обобщение результатов комплексного обследования строительных конструкций жилого здания, анализ влияния подтопления и неравномерных осадок фундаментов на формирование предаварийного состояния, а также обоснование параметров водопонижения и несущего слоя для повышения эксплуатационной надежности зданий аналогичного типа.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Участок проектируемого объекта расположен в пределах застроенной территории города Караганды, в микрорайоне «Восток-2», и приурочен к равнинной аккумулятивной поверхности с незначительным уклоном рельефа (рисунки 1 и 2). В абсолютных отметках рельеф площадки характеризуется перепадом высот в пределах нескольких метров, что в целом соответствует условиям плотной городской застройки. Территория участка благоустроена, частично заасфальтирована и окружена существующими жилыми зданиями различной этажности, что ограничивает возможность естественного поверхностного водоотведения.

Согласно данным инженерно-геологических изысканий, геологическое строение площадки представлено песчано-глинистыми отложениями карбонового, неогенового и четвертичного возрастов. Четвертичные отложения, сложенные песками и суглинками, залегают до глубины порядка 3,0 м, отличаются невыдержанностью по мощности и характеризуются повышенной влажностью. Ниже распространены элювиальные глины павлодарской и аральской свит, обладающие набухающими свойствами и чувствительные к изменению влажностного режима.

Исследование технического состояния здания, фундаментов и грунтов основания выполнялось на основе комплексного поэтапного подхода. Для проведения обследования применялся сертифицированный комплект измерительных средств, прошедших государственную поверку и обеспечивающих требуемую точность измерений. В состав геодезического

оборудования входили электронные тахеометры Leica TC1201+ и TS06, а также лазерные дальномеры серии Disto, используемые для контроля геометрических параметров конструкций, определения отклонений от вертикали и взаимных смещений элементов здания.



**Рисунок 1.** Общий вид территории расположения объекта

*Примечание – составлено авторами*



**Рисунок 2.** Общий вид жилого дома

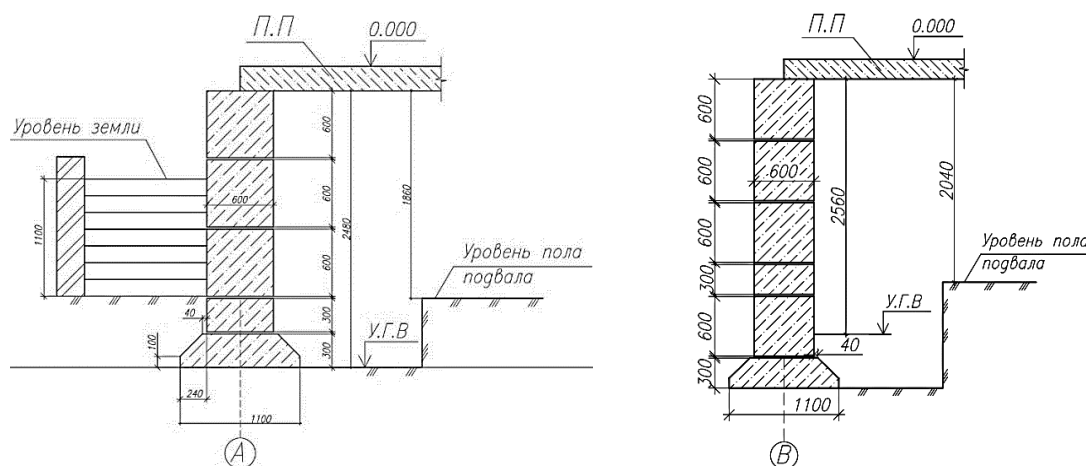
*Примечание – составлено авторами*

Неразрушающий контроль прочности бетонных конструкций выполнялся с применением измерителя прочности бетона ИПС-МГ4.04, ультразвукового прибора УКС-МГ4, молотка ударного действия ПОС-50МГ4.0 и прибора Profometer РМ-6 для определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры. Дополнительно использовались универсальные измерительные инструменты, включающие штангенциркули, рулетки, наборы щупов и шаблоны для измерения ширины раскрытия трещин. Для фиксации результатов обследования применялись цифровой фотоаппарат Nikon, полевые журналы наблюдений и электронные носители для документирования измерений.

Контроль прочности бетона в конструкциях осуществлялся ударно-импульсным, ультразвуковым и комбинированным методами в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов. Для каждого конструктивного элемента выполнялось не менее пяти–семи измерений, после чего проводилась статистическая обработка полученных данных с определением средних значений и оценкой разброса показателей, что позволяло повысить достоверность результатов.

Расчет несущей способности и осадок основания выполнялся на основе данных инженерно-геологических изысканий, результатов лабораторных испытаний грунтов, анализа компрессионных кривых, значений модулей деформации и фактических нагрузок, передаваемых на основание от строительных конструкций.

На рисунке 1 зафиксировано расположение уровня подземных вод вблизи подошвы фундамента, что свидетельствует о постоянном воздействии влаги на конструкции и грунт основания. Такое положение УГВ создает условия для водонасыщения супесчаных и суглинистых грунтов, повышения их сжимаемости и развития неравномерных осадок.



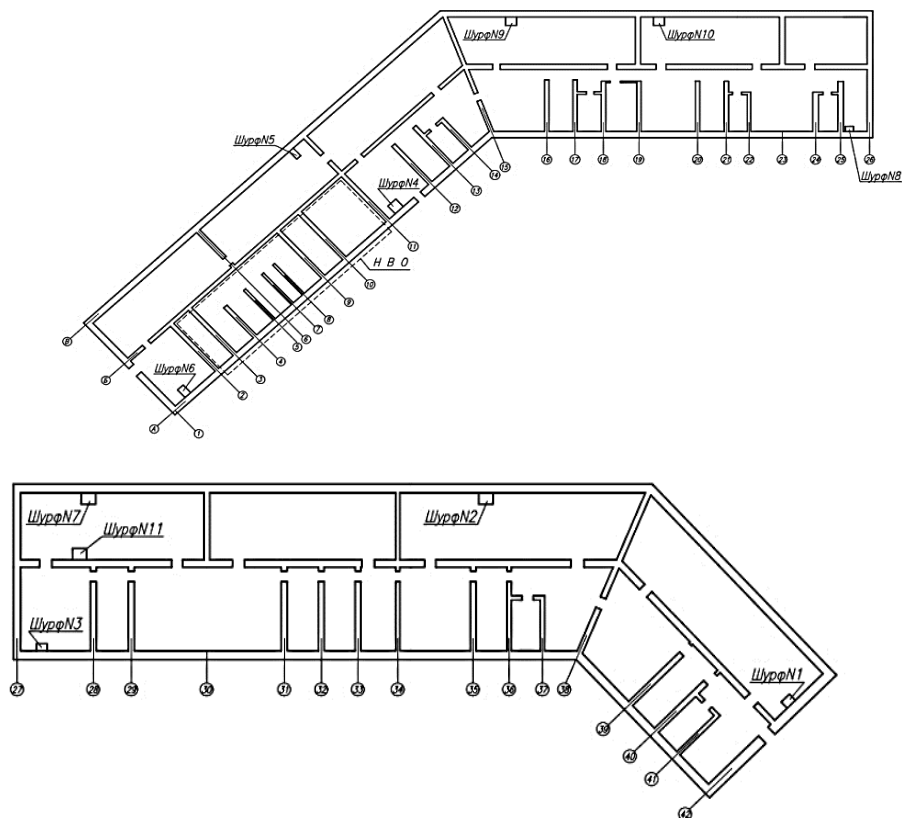
**Рисунок 3.** Конструктивный разрез ленточного фундамента с подвалом

*Примечание – составлено авторами*

На рисунке 4 представлен фрагмент плана подвального этажа здания, отражающий конфигурацию помещений, расположение наружных и внутренних несущих стен, перегородок, а также точки обследования фундаментов и грунтов основания. На схеме показано размещение помещений различного функционального назначения, конструктивных элементов здания и участков проведения визуальных и инструментальных наблюдений с привязкой к принятой координатной сетке.

Кроме того, на плане обозначены места устройства шурфов (шурфы № 1...№ 10), выбранные с учетом расположения наиболее нагруженных зон, участков сопряжения продольных и поперечных стен, а также зон с повышенной влажностью. Такое размещение точек обследования обеспечило получение репрезентативных данных о фактическом состоянии фундаментов и грунтов основания, а также позволило выявить взаимосвязь между характером деформаций, конструктивными особенностями здания и гидрогеологическими условиями площадки.

Дополнительно проводилась оценка влажностного режима подвальных помещений и грунтов основания, включая измерение относительной влажности воздуха и визуальную фиксацию зон увлажнения конструкций. Анализ данных позволил учесть влияние подтопления и изменения гидрогеологических условий на работу фундаментов и развитие неравномерных осадок.



**Рисунок 4.** План подвального этажа здания с расположением шурфов и зон обследования

*Примечание – составлено авторами*

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

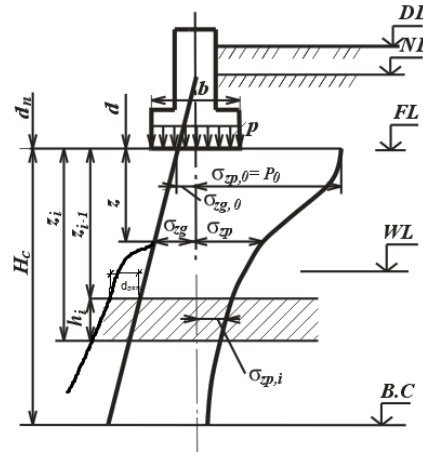
Анализ конструктивных решений, представленных на рисунках 3 и 4, показывает, что ленточный фундамент здания эксплуатируется в условиях близкого залегания уровня подземных вод и повышенной влажности грунтов основания, что оказывает существенное влияние на его напряженно-деформированное состояние и эксплуатационную надежность.

На рисунке 5 представлена расчетная схема распределения напряжений и деформаций в грунтовом массиве под подошвой ленточного фундамента, используемая при определении осадок методом послойного суммирования.

На схеме показаны глубина заложения фундамента, ширина подошвы, границы расчетных слоев, положение уровня подземных вод, а также распределение вертикальных напряжений  $\sigma_v$  по глубине основания. Обозначены дополнительные напряжения от внешней нагрузки, исходные напряжения в грунтовом массиве и их изменение в процессе нагружения.

Расчетная толща основания  $H_c$  разделена на отдельные слои  $h_i$ , в пределах которых принимаются постоянные деформационные характеристики грунта. Для каждого слоя определяется приращение напряжений и соответствующая относительная деформация, используемая при вычислении суммарной осадки.

Ленточный фундамент возводимого здания имеет глубину заложения  $d = 2,6$  м, нагрузку, действующую по его обрезу  $NOII = 600$  кН/м; предельная осадка по SP RK 5.01-102-2013 (2013) составляет  $S_{пред} = 10$  см, заданная проектом величина расчетного сопротивления несущего слоя  $R_{np} = 350$  кПа.



**Рисунок 5.** Расчетная схема распределения напряжений и деформаций в основании ленточного фундамента

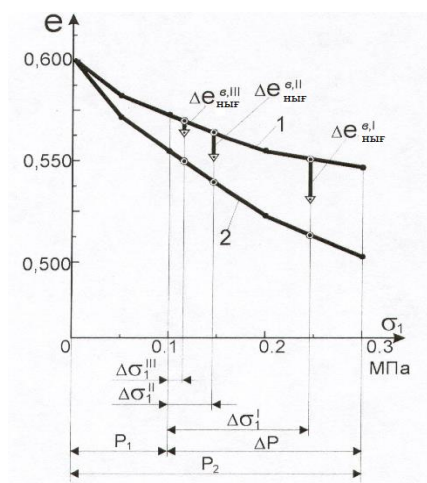
*Примечание – составлено авторами*

В пределах исследуемой площадки с поверхности и на всю мощность залегает супесь. Для образца грунта, отобранного с глубины 2,6 м, были определены основные физико-механические характеристики и выполнены компрессионные испытания. Результаты лабораторных исследований представлены на рисунке 6.

Анализ компрессионных кривых показал, что модуль деформации супеси при естественной влажности составляет  $E_{ест.} = 11,8 \text{ МПа}$  тогда как после замачивания он снижается до  $E_{вод.} = 5,9 \text{ МПа}$ , что свидетельствует о двукратном ухудшении деформационных свойств грунта при водонасыщении.

Для обоснования мероприятий по обеспечению надежной работы основания выполнен расчет необходимой мощности несущего слоя, сохраняющего естественную влажность, а также определена минимальная глубина водопонижения.

На рисунке 6 представлены компрессионные кривые грунта, полученные по результатам одометрических испытаний при естественной влажности (кривая 1) и при полном водонасыщении (кривая 2). Графики отражают зависимость коэффициента пористости  $e$  от величины вертикального напряжения  $\sigma_1$ .



**Рисунок 6.** Компрессионные кривые грунта при естественной влажности и водонасыщении

*Примечание – составлено авторами*

Анализ представленных кривых показывает, что при увеличении нагрузки происходит уменьшение коэффициента пористости, сопровождающееся уплотнением грунта. При этом в условиях водонасыщения наблюдается более интенсивное развитие деформаций, что выражается в большем снижении значения  $e$  по сравнению с состоянием естественной влажности.

Разности значений коэффициента пористости  $\Delta e$ , соответствующие отдельным интервалам нагрузки, использовались при определении относительных деформаций слоев и расчете осадок методом послойного суммирования. Полученные зависимости послужили основой для оценки влияния водонасыщения на сжимаемость грунтов основания.

На первом этапе, принимая расчетное сопротивление основания равным проектному значению  $R = R_{пр} = 350$  кПа, была определена расчетная ширина подошвы ленточного фундамента по формуле, с учетом среднего удельного веса грунта и материала фундамента  $\gamma_{срII} = 20$  кН/м<sup>3</sup>.

$$b = \frac{N_{оII}}{R - \gamma_{срII} \cdot d} = \frac{600}{350 - 20 \cdot 2,6} = 2,0 \text{ м}.$$

Для наихудшего варианта работы основания, соответствующего полному водонасыщению грунтов, расчет выполнялся по компрессионной кривой 2 (рисунок 6), при значениях мощностей слоев:  $h_I = 2,16 \text{ м}$ ,  $h_{II} = 1,6 \text{ м}$ ,  $h_{III} = 0,72 \text{ м}$ :

Суммарная осадка составила:

$$S_{выч.}^{вод} = S_I^{вод} + S_{II}^{вод} + S_{III}^{вод} = 8,9 + 2,96 + 0,39 = 12,25 \text{ см}.$$

Полученное значение превышает предельно допустимую осадку:  $S_{пред} = 10$  см. Следовательно, условие SN RK 5.01-02-2013 (2013) по ограничению осадок не выполняется, что свидетельствует о необходимости принятия мероприятий по повышению надежности основания.

Для оценки характера деформирования основания были определены относительные деформации расчетных слоев:

$$\varepsilon_I = \frac{S_I^{вод}}{h_I} = \frac{8,9}{216} = 0,0412; \quad \varepsilon_{II} = \frac{S_{II}^{вод}}{h_{II}} = \frac{2,96}{160} = 0,0185; \quad \varepsilon_{III} = \frac{S_{III}^{вод}}{h_{III}} = \frac{0,39}{72} = 0,0054$$

Наибольшая деформация наблюдается в верхнем слое грунта, что указывает на его определяющее влияние на общую осадку основания.

Величина превышения расчетной осадки над допустимой определялась по выражению:

$$S_{завыш.} = S_{выч.}^{вод} - S_{пред.} = 12,25 - 10 = 2,25 \text{ см}.$$

Полученное превышение подтверждает необходимость ограничения деформаций верхнего слоя грунта.

Допускаемая осадка первого слоя составила при  $\square_I$ :

$$S_I^{треб} = S_I^{вод} - S_{завыш.} = 8,9 - 2,25 = 6,65 \text{ см}.$$

Тогда требуемая относительная деформация первого слоя будет равна:

$$\varepsilon_I^{треб} = \frac{S_I^{треб}}{h_I} = \frac{6,65}{216} = 0,0308$$

Полученное значение использовалось при определении параметров несущего слоя.

Для условий естественной влажности расчет выполнялся по компрессионной кривой 1 (рисунок 6).

$$S_{выч.}^{ест} = S_I^{ест} + S_{II}^{ест} + S_{III}^{ест} = 4,58 + 1,36 + 0,19 = 6,13 \text{ см}.$$

Относительная деформация первого слоя при естественной влажности:

$$\varepsilon_I^{ecm} = \frac{S_I^{ecm}}{h_I} = \frac{4,58}{216} = 0,021.$$

В данном случае условие по предельной осадке выполняется.

Необходимая мощность несущего слоя, сохраняющего естественную влажность, определялась по формуле:

$$h_{нс}^{ecm} = \frac{(\varepsilon_I^{вод} - \varepsilon_I^{троб})}{(\varepsilon_I^{вод} - \varepsilon_I^{ecm})} h_I = \frac{(0,0412 - 0,0308)}{(0,0412 - 0,021)} 216 = 111 \text{ см.}$$

Таким образом, минимальная мощность незамоченного несущего слоя составляет 1,11 м.

Минимальная глубина водопонижения определялась от поверхности земли по формуле:

$$h_{ан}^{min} = d + h_{нс}^{ecm} = 2,6 + 1,11 = 3,71 \text{ м.}$$

Полученное в результате расчетов значение глубины водопонижения принимается в качестве исходного параметра при проектировании дренажных систем с учетом фактического изменения деформационных характеристик грунтов в условиях подтопления. Установлено, что при полном водонасыщении грунтов расчетная осадка фундамента превышает нормативное значение, установленное требованиями (SP RK 5.01-102-2013, 2013; SN RK 5.01-02-2013, 2013) тогда как при естественной влажности основание работает в допустимом деформационном режиме. Это свидетельствует о том, что традиционные нормативные подходы, основанные на использовании параметров грунтов в естественном состоянии, не всегда обеспечивают достоверную оценку условий работы основания в процессе эксплуатации (Utenov et al., 2017; Utenov, 2013).

Анализ распределения деформаций показал, что основная их часть формируется в верхнем слое грунта, находящемся в зоне влияния колебаний уровня подземных вод, что обуславливает его определяющую роль в формировании общей осадки (Chen et al., 2023; Li et al., 2026). На основе выполненных расчетов установлено, что минимальная мощность незамоченного несущего слоя должна составлять не менее 1,11 м, а минимальная глубина водопонижения не менее 3,71 м, что позволяет исключить водонасыщение расчетного слоя и обеспечить нормативную устойчивость основания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного комплексного визуального, инструментального и расчетного обследования установлено, что техническое состояние исследуемого жилого здания формируется под значительным влиянием сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условий, характеризующихся близким залеганием уровня подземных вод и повышенной влажностью грунтов основания.

Анализ инженерно-геологических данных и результатов лабораторных испытаний показал, что супесчаные и суглинистые грунты основания обладают высокой чувствительностью к изменению влажностного режима. При водонасыщении модуль деформации грунта снижается более чем в два раза, что приводит к существенному увеличению сжимаемости и развитию неравномерных осадок фундаментов.

Установлено, что при полном водонасыщении грунтов расчетная осадка ленточного фундамента превышает предельно допустимые нормативные значения, что свидетельствует о неудовлетворительных условиях работы основания и необходимости применения инженерных мероприятий по его стабилизации.

Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния основания показала, что основная часть деформаций формируется в верхнем слое грунта, расположенном в зоне сезонных колебаний уровня подземных вод, что определяет его решающую роль в формировании общей осадки фундамента.

Для обеспечения нормативной деформационной устойчивости основания определена минимальная мощность несущего слоя, сохраняющего естественную влажность, равная 1,11 м. Данный слой обеспечивает допустимый уровень осадок при эксплуатации здания.

На основе выполненных расчетов установлено, что минимальная глубина водопонижения должна составлять не менее 3,71 м от поверхности земли, что позволяет исключить водонасыщение расчетного несущего слоя и стабилизировать деформационные характеристики грунтов основания.

Выявленные дефекты и повреждения строительных конструкций находятся в причинно-следственной связи с подтоплением грунтов основания, нарушением условий эксплуатации здания и отсутствием эффективных мероприятий по водоотведению и гидроизоляции.

Примененная в работе комплексная методика обследования, основанная на сочетании визуальных, инструментальных и расчетных методов, показала высокую информативность и может быть рекомендована для оценки технического состояния зданий аналогичного конструктивного типа, эксплуатируемых в условиях сложных грунтов.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке проектных решений по устройству дренажных систем, усилению фундаментов, восстановлению гидроизоляции и организации мониторинга гидрогеологического режима в зоне застройки.

Реализация рекомендованных мероприятий позволит повысить эксплуатационную надежность зданий, снизить риск развития предаварийных и аварийных состояний и обеспечить безопасную долговременную эксплуатацию жилого фонда.

Дополнительно установлено, что развитие деформаций основания носит инженерно-геотехнический характер и определяется не столько величиной передаваемых нагрузок, сколько изменением напряженно-деформированного состояния грунтов при нарушении их естественного влажностного режима. Подтопление приводит к переходу грунтов основания из расчетного состояния, принятого при проектировании, в другое физическое состояние, сопровождающееся снижением их жесткости и ростом деформаций.

Показано, что традиционное использование деформационных характеристик грунтов при естественной влажности не обеспечивает достоверной оценки осадок фундаментов в условиях эксплуатации при повышенном уровне подземных вод. В связи с этим при обследовании и расчетной оценке существующих зданий в зонах подтопления целесообразно учитывать фактические значения модулей деформации при водонасыщении, определяемые лабораторными и полевыми методами.

Установлено, что верхняя часть грунтового массива в пределах глубины сезонного и техногенного колебания уровня подземных вод является определяющим деформационно-активным слоем, формирующим основную долю осадки ленточных фундаментов. Данное обстоятельство указывает на необходимость приоритетной стабилизации именно этого слоя при разработке инженерных мероприятий.

Расчётами подтверждено, что обеспечение нормативной работы основания возможно не только за счёт усиления фундаментов, но и за счёт регулирования гидрогеологического режима, направленного на сохранение несущего слоя в состоянии естественной влажности. В этом контексте мероприятия по водопонижению и дренажу следует рассматривать как равнозначную альтернативу конструктивному усилению, а в ряде случаев – как более эффективное и экономически обоснованное решение.



Полученные результаты свидетельствуют о необходимости перехода от статической оценки основания к эксплуатационно-ориентированному геотехническому анализу, учитывающему возможную трансформацию свойств грунтов во времени. Такой подход позволяет повысить достоверность прогноза деформаций и обоснованность проектных решений при обследовании и реконструкции зданий, эксплуатируемых в условиях подтопления.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Исследование не получало внешнего финансирования.

**ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ОДОБРЕНИИ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМ ЭТИЧЕСКИМ КОМИТЕТОМ (IRB):** Не применимо.

**ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ИНФОРМИРОВАННОМ СОГЛАСИИ:** Не применимо.

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:** Данные, подтверждающие результаты данного технического исследования, могут быть предоставлены соответствующим автором по обоснованному запросу.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Авторы выражают благодарность коллегам за методологическую поддержку и полезные обсуждения, а также анонимным рецензентам за ценные замечания, способствовавшие улучшению качества статьи.

**УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА:** При подготовке рукописи использовалась платформа ChatGPT, разработанная OpenAI, для языковой и стилистической редакции текста.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Alnmr, A., & Ray, R. (2024). Investigating the impact of varying sand content on the physical characteristics of expansive clay soils from Syria. *Geotechnical and Geological Engineering*, 42(4), 2675–2691. <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02698-w>
- Chen, X., Gao, X., Li, H., Xue, M., Gan, X., & Song, Y. (2023). Model test analysis of groundwater level fluctuations on karst cover deformation taking the monolithic structure of Guilin as an example. *Applied Sciences*, 13(3), 1747. <https://doi.org/10.3390/app13031747>
- Chou, W.-Y., & Hung, S.-H. (2021). Cumulative frequency of nature dose: How continuous and regular forest walking improves nature relatedness, restorativeness, and learning engagement in college students. *Sustainability*, 13(20), 11370. <https://doi.org/10.3390/su132011370>
- Dastpak, P., Sousa, R. L., & Dias, D. (2023). Soil erosion due to defective pipes: A hidden hazard beneath our feet. *Sustainability*, 15(11), 8931. <https://doi.org/10.3390/su15118931>
- Florkowska, L., Bryt-Nitarska, I., Pilecka, E., & Białasek, K. (2026). Natural and anthropogenic risk factors of discontinuous ground deformations: A conceptual framework for hazard analysis: Part I—Predisposing conditions. *Applied Sciences*, 16(2), 708. <https://doi.org/10.3390/app-16020708>
- Ge, C., Yang, M., Li, P., Zhang, M., & Zhang, Z. (2024). Performance and environmental impacts of deep foundation excavation in soft soils: A field and modeling-based case study in Nanjing, China. *Underground Space*, 18, 218–238. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2024.01.002>
- Li, H., Gu, M., Zhang, M., Ma, B., Zhu, X., Gu, L., et al. (2025). Research on the influence of groundwater level dynamic rising process on buildings based on numerical simulation. *Water*, 17(20), 3014. <https://doi.org/10.3390/w17203014>
- Li, X., Zhu, L., Wang, H., Gong, H., & Li, X. (2026). Impact of deformation response patterns to groundwater level: A post water division project operation in Beijing Plain. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 64, 103154. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2026.103154>
- Lollino, G., Giordan, D., Thuro, K., Carranza-Torres, C., Wu, F., Marinis, P., et al. (Eds.). (2015).

- Engineering geology for society and territory: Volume 6. Applied geology for major engineering projects. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09060-3>
- Patrício, J. D., Gusmão, A. D., Ferreira, S. R. M., Silva, F. A. N., Kafshgarkolaei, H. J., Azevedo, A. C., et al. (2024). Settlement analysis of concrete-walled buildings using soil–structure interactions and finite element modeling. *Buildings*, 14(3), 746. <https://doi.org/10.3390/buildings14030746>
- Saliba, J., Al-Shaar, W., & Delage, M. (2025). Comparison of field and laboratory tests for soil suitability assessment in raw earth construction. *Applied Sciences*, 15(4), 1932. <https://doi.org/10.3390/app15041932>
- Sarzhanov, N., & Schurch, T. (2023). Rethinking Soviet era mass housing in Kazakhstan. *Spatium*, 49, 42–50. <https://doi.org/10.2298/SPAT221002001S>
- Semko, O., Vynnykov, Y., Filonenko, O., Yurin, O., Ilchenko, T., Hranko, O., et al. (2025). To the issue of assessment of the technical condition of underground structures of buildings. *Sustainability*, 17(5), 2264. <https://doi.org/10.3390/su17052264>
- СН РК 5.01-02-2013. Основания зданий и сооружений [SN RK 5.01-02-2013. Foundations of buildings and structures]. (2013). // SN RK 5.01-02-2013. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundations of buildings and structures]. (In Russ.)
- СП РК 5.01-102-2013. Основания зданий и сооружений [SP RK 5.01-102-2013. Foundations of buildings and structures]. (2013). // SP RK 5.01-102-2013. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundations of buildings and structures]. (In Russ.)
- Tažiková, A., Struková, Z., & Kozlovská, M. (2023). An analysis of real site operation time in construction of residential buildings in Slovakia. *Sustainability*, 15(2), 1529. <https://doi.org/10.3390/su15021529>
- Утепов, Е. С. (2013). Расчет фундаментов реконструируемых зданий // Utenov, E. S. Raschet fundamentov rekonstruiruemyykh zdaniy [Calculation of foundations of reconstructed buildings]. Publishing House of KSTU. (In Russ.)
- Utenov, E. S., Zhusupbekov, A. Zh., Sotnikov, S. N., Mukhamedzhanova, A. T., & Kaldanova, B. O. (2017). Interaction analysis of adjacent foundations of renovated buildings. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54(1), 17–23. <https://doi.org/10.1007/s11204-017-9427-7>
- Vitorio Junior, P. C., Yepes, V., Onetta, F., & Kripka, M. (2025). Comparative life cycle assessment of warehouse construction systems under distinct end-of-life scenarios. *Buildings*, 15(9), 1445. <https://doi.org/10.3390/buildings15091445>
- Wang, C., Liu, R., Wang, X., Ping, B., Qian, H., Li, X., et al. (2025). Review of the research on the impact resistance mechanical performance of prestressed segmental precast and assembled piers. *Structural Durability & Health Monitoring*, 19(4), 819–850. <https://doi.org/10.32604/sdhm.2025.060580>
- Wang, C., Yang, W., Zhang, N., Wang, S., Ma, C., Wang, M., et al. (2024). Effect of moisture content and wet–dry cycles on the strength properties of unsaturated clayey sand. *Buildings*, 14(5), 1375. <https://doi.org/10.3390/buildings14051375>
- Zhang, W., Wang, X., Yang, Q., Li, S., & Chen, W. (2025). Identification of key risk factors in mechanical cross passage construction based on the decision-making test and evaluation test method and the interpretation structure model. *Buildings*, 15(3), 394. <https://doi.org/10.3390/buildings15030394>



**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Токанов Данияр Токанович** – техника ғалымдарының кандидаты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды Техникалық Университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

**Токанов Данияр Токанович** – кандидат технических наук, Карагандинский Технический Университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

**Tokanov Daniyar Tokanovich** – Candidate of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

e-mail: [tokanov-daniyar@mail.ru](mailto:tokanov-daniyar@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5811-3639>



**Оразалы Ербол Ермекович** – техника ғалымдарының кандидаты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды Техникалық Университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

**Оразалы Ербол Ермекович** – кандидат технических наук, Карагандинский Технический Университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

**Orazaly Yerbol Yermekovich** – Candidate of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

e-mail: [eorazaly@mail.ru](mailto:eorazaly@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2880-4134>



**Мухамеджанова Асель Толеубековна** – PhD, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды Техникалық Университеті, Қарағанды қ., Қазақстан

**Мухамеджанова Асель Толеубековна** – PhD, Карагандинский Технический Университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

**Mukhamejanova Assel Toleubekovna** – PhD, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

e-mail: [assel.84@list.ru](mailto:assel.84@list.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5084-2527>

[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_9](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_9)

МРНТИ 67.07.03

## ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОРГАНИЗАЦИИ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ КАК ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА)

### ТУРИСТІК-РЕКРЕАЦІЯЛЫҚ ОРТАЛЫҚТАРДЫҢ КЕҢІСТІК ЖҮЙЕЛЕР РЕТІНДЕГІ ҰЙЫМДАСТЫРУДЫҢ ИЕРАРХИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫ (СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН МЫСАЛЫНДА)

### HIERARCHICAL STRUCTURE OF THE ORGANIZATION OF TOURIST AND RECREATIONAL CENTERS AS SPATIAL SYSTEMS (CASE STUDY OF NORTHERN KAZAKHSTAN)

Ж.М. Садвакас <sup>1\*</sup>, А.А. Корнилова <sup>1</sup>, А.М. Есенбаев <sup>1</sup>,  
Д.Г. Дюсенова <sup>2</sup>, О.Е. Гурская <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский Университет имени С. Сейфуллина,  
г. Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Казахская головная архитектурно-строительная академия, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

\*Автор-корреспондент: Садвакас Жамбыл Маратұлы, D84043@kazatu.edu.kz

#### Ключевые слова:

туристско-рекреационный комплекс, архитектурная организация, пространственная структура, иерархия, системный подход, функциональное зонирование, Северный Казахстан, ландшафтная организация.

#### АННОТАЦИЯ

В условиях активного развития туризма в Республике Казахстан возрастает необходимость научного обоснования архитектурно-пространственной организации туристско-рекреационных комплексов, особенно в регионах Северного Казахстана с выраженными природно-ландшафтными особенностями. Целью исследования является разработка модели иерархической пространственной структуры туристско-рекреационных комплексов. В работе применены системный и структурно-функциональный подходы, а также методы сравнительного и графо-аналитического анализа. Установлено, что туристско-рекреационные комплексы формируются как многоуровневые системы, включающие макро-, мезо- и микроуровни, объединённые пространственными и функциональными связями. Научная новизна заключается в обосновании иерархической системы пространственной организации туристско-рекреационных комплексов с учётом природного каркаса территории. Практическая значимость состоит в возможности применения результатов при проектировании туристских территорий. Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием и уточнением предложенной модели с учётом сезонной динамики, климатических факторов и трансформации функциональной структуры туристско-рекреационных комплексов.





---

#### **Түйінді сөздер:**

туристік-рекреациялық кешен, архитектуралық ұйымдастыру, кеңістіктік құрылым, иерархия, жүйелік тәсіл, функционалдық аймақтау, Солтүстік Қазақстан, ландшафтық ұйымдастыру.

---

#### **ТҮЙІНДЕМЕ**

Қазақстан Республикасында туризмнің қарқынды дамуы жағдайында туристік-рекреациялық кешендердің сәулеттік-кеңістіктік ұйымдастырылуын ғылыми тұрғыдан негіздеу қажеттілігі артып отыр, әсіресе табиғи-ландшафтық ерекшеліктері айқын Солтүстік Қазақстан өңірлерінде. Зерттеудің мақсаты – туристік-рекреациялық кешендердің иерархиялық кеңістіктік құрылымының моделін әзірлеу. Жұмыста жүйелік және құрылымдық-функционалдық тәсілдер, сондай-ақ салыстырмалы және графикалық-аналитикалық талдау әдістері, графикалық-аналитикалық талдау әдістері қолданылды. Туристік-рекреациялық кешендердің макро-, мезо- және микро деңгейлерден тұратын, кеңістіктік және функционалдық байланыстар арқылы біріктірілген көпдеңгейлі жүйе ретінде қалыптасатыны анықталды. Туристік-рекреациялық кешендердің макро-, мезо- және микро деңгейлерден тұратын, кеңістіктік және функционалдық байланыстар арқылы біріктірілген көпдеңгейлі жүйе ретінде қалыптасатыны анықталды. Болашақ зерттеулер туристік-рекреациялық кешендердің функционалдық құрылымының трансформациясын, маусымдық динамиканы және климаттық факторларды ескере отырып, ұсынылған модельді дамыту және нақтылаумен байланысты.

---

#### **keywords:**

tourist-recreational complex, architectural organization, spatial structure, hierarchy, systems approach, functional zoning, Northern Kazakhstan, landscape organization.

---

#### **ABSTRACT**

In the context of the active development of tourism in the Republic of Kazakhstan, there is an increasing need for a scientific justification of the architectural and spatial organization of tourist and recreational complexes, particularly in the regions of Northern Kazakhstan characterized by distinct natural and landscape conditions. The aim of the study is to develop a model of the hierarchical spatial structure of tourist and recreational complexes. The research applies system-based and structural-functional approaches, as well as comparative and graphic-analytical methods. It has been established that tourist and recreational complexes are formed as multi-level systems, including macro-, meso-, and micro-levels interconnected by spatial and functional relationships. The scientific novelty lies in substantiating a hierarchical system of spatial organization of tourist and recreational complexes, taking into account the natural framework of the territory. The practical significance lies in the applicability of the results in the design of tourist areas. Future research directions are associated with the further development and refinement of the proposed model, taking into account seasonal dynamics, climatic factors, and transformations in the functional structure of tourist and recreational complexes.

---

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В последние десятилетия туристская отрасль демонстрирует устойчивую динамику роста и постепенно становится одним из значимых направлений социально-экономического развития Республики Казахстан. Развитие внутреннего и въездного туризма сопровождается расширением туристской инфраструктуры, увеличением объемов инвестиций и формированием новых рекреационных территорий (Иванов, 2019; Куленова, 2021). По данным официальной статистики, за последние десять лет общий туристский поток в стране увеличился более чем на 40–60 %, что свидетельствует о возрастающем значении туризма в структуре национальной экономики. В данных

условиях туристско-рекреационные комплексы выступают ключевыми пространственными элементами организации туристской деятельности, обеспечивая концентрацию функций размещения, обслуживания, досуга и рекреации.

Проведённое исследование позволило установить, что туристско-рекреационные комплексы в условиях Северного Казахстана формируются как сложные иерархически организованные пространственные системы, характеризующиеся многоуровневой структурой, устойчивыми внутренними связями и взаимозависимостью природных, функциональных и архитектурных компонентов (Alexander, 1977; Salingaros, 2000). В их составе последовательно выделяются макро-, мезо- и микроуровни пространственной организации, каждый из которых выполняет специфическую роль в формировании целостной архитектурно-пространственной среды. Взаимодействие данных уровней обеспечивает не только функциональную эффективность территории, но и формирование устойчивого композиционно-пространственного каркаса туристско-рекреационного комплекса (Куленова, 2021; Bakulov, 2018).

Актуальность рассматриваемой проблематики обусловлена тем, что в современных условиях наблюдается активное развитие туристской инфраструктуры и рост рекреационной нагрузки на природные территории, особенно в пределах ценных ландшафтов Северного Казахстана. Усиление антропогенного воздействия, фрагментация природной среды и стихийное размещение объектов туристской инфраструктуры приводят к нарушению целостности пространственной структуры рекреационных территорий. В связи с этим возрастает необходимость перехода от точечного и фрагментарного освоения территории к системному, научно обоснованному подходу, основанному на принципах пространственной иерархии и структурной согласованности элементов.

Установлено, что ключевую роль в формировании структуры туристско-рекреационных комплексов играет природно-ландшафтный каркас, который выступает базовой основой пространственного развития и определяет общую конфигурацию территории. Именно природные компоненты – рельеф, гидрографическая сеть, лесные массивы, открытые пространства и визуальные доминанты – задают направления формирования функциональных зон, определяют структуру рекреационных потоков и характер пространственной композиции. В этом контексте природная среда рассматривается не только как фон для размещения объектов, но и как активный структурообразующий фактор, определяющий логику пространственной организации всего комплекса.

Функционально-зональная организация и архитектурная среда при этом выступают как взаимосвязанные уровни, обеспечивающие распределение рекреационной активности, дифференциацию пространств по степени интенсивности использования и формирование различных сценариев взаимодействия человека с территорией (Веденин, 1982; Квартальнов, 2002). Выявлено, что эффективность функционирования туристско-рекреационного комплекса во многом определяется степенью согласованности между функциональными зонами, логикой их пространственного размещения и качеством архитектурно-планировочных решений. Таким образом, архитектурная среда приобретает не только утилитарное, но и структурообразующее значение в общей системе ТРК.

В работе предложена модель иерархической пространственной организации туристско-рекреационного комплекса, отражающая системную взаимосвязь природных, функциональных и архитектурно-планировочных факторов. Данная модель позволяет рассматривать туристско-рекреационный комплекс как целостную пространственную систему, в которой каждый уровень связан с другими через систему иерархических и функциональных зависимостей. В отличие от существующих подходов, ориентированных преимущественно на функциональное зонирование, статистическое описание или экономическую оценку туристских территорий, предложенная модель акцентирует



внимание на пространственной структуре, характере взаимосвязей и принципах формирования целостной среды.

Особое значение в рамках исследования приобретает рассмотрение туристско-рекреационного комплекса как динамической системы, способной изменяться под воздействием внешних факторов, включая сезонность, климатические условия, интенсивность туристических потоков и уровень антропогенной нагрузки. Это позволяет рассматривать пространственную структуру не как статичное образование, а как гибкую систему, адаптирующуюся к изменяющимся условиям функционирования.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их использования при проектировании, реконструкции и развитии туристско-рекреационных территорий, включая разработку генеральных планов, стратегий пространственного развития и концептуальных архитектурно-градостроительных решений. Предложенный подход может быть применён при формировании устойчивых рекреационных систем, ориентированных на сохранение природного каркаса территории и повышение эффективности использования рекреационного потенциала.

Вместе с тем следует отметить, что полученные выводы в значительной степени обусловлены региональными особенностями Северного Казахстана, включая специфику природно-ландшафтной структуры, климатические условия, характер освоения территорий и уровень развития туристской инфраструктуры. Это предполагает необходимость адаптации предложенной модели при её применении в иных природно-климатических и градостроительных условиях с учётом локальных факторов формирования туристско-рекреационных систем.

Дальнейшие направления исследований могут быть связаны с углублённым анализом сезонной динамики функционирования туристско-рекреационных комплексов, изучением трансформации их пространственной структуры под влиянием климатических факторов, а также разработкой цифровых и параметрических моделей, позволяющих моделировать развитие рекреационных территорий в различных сценариях нагрузки и использования.

В работах К. Александера (Alexander, 1977; 2002) и Н. Салингароса (Alexander & Salingaros, 2013; Salingaros, 2000) пространство рассматривается как иерархическая «живая структура», что соотносится с предложенной в статье моделью макро-, мезо- и микроуровней ТРК. Однако данные подходы носят преимущественно теоретический характер и требуют адаптации к конкретным природно-климатическим условиям.

Б. Хиллиер и Дж. Хэнсон (Hillier & Hanson, 1984) акцентируют социальную обусловленность пространственных структур, но недостаточно учитывают природный каркас территории. Работы Б. Цзяна (Jiang, 2015) предлагают формализованные методы выявления иерархий, однако ориентированы преимущественно на городские системы. Исследования Роу и Кёттера (Rowe & Koetter, 1978) и Трэнтика (Trancik, 1986) показывают проблему фрагментации среды, что актуально для стихийно развивающихся туристских территорий.

Отечественные авторы (Бакулов, 2018; Иванов, 2019; Куленова, 2021; Сергеев, 2020) развивают системно-функциональный подход, однако пространственная иерархия и региональные особенности ТРК остаются недостаточно раскрытыми.

Таким образом, в литературе сохраняется пробел в интеграции природного каркаса, функциональной структуры и архитектурной среды в единую иерархическую модель, особенно в условиях Северного Казахстана. Это определяет необходимость разработки адаптированной пространственной модели туристско-рекреационных комплексов.

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых вопросам развития туристско-рекреационных территорий, большинство существующих работ ориентировано преимущественно на функциональное зонирование, экономические

аспекты туризма или территориальное планирование. При этом пространственная иерархия туристско-рекреационных комплексов, взаимосвязь масштабных уровней и роль пространственных связей в формировании целостной архитектурной среды остаются недостаточно изученными. Особенно актуальной данная проблема становится в условиях Северного Казахстана, где природно-климатические особенности оказывают существенное влияние на характер пространственной организации рекреационных территорий.

Таким образом, целью исследования является разработка модели иерархической системы пространственной структуры туристско-рекреационных комплексов в региональных условиях Северного Казахстана. Достижение поставленной цели предполагает рассмотрение туристско-рекреационного комплекса как многоуровневой пространственной системы, формирующейся под воздействием природных, функциональных и архитектурно-планировочных факторов.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

- проанализировать существующие подходы к формированию туристско-рекреационных комплексов как системных образований;
- выявить особенности функциональной структуры ТРК и характер взаимосвязи её элементов;
- определить закономерности пространственной организации ТРК с учётом природно-ландшафтных и климатических факторов региона;
- сформировать модель иерархической структуры туристско-рекреационного комплекса.

Научная новизна исследования заключается в рассмотрении туристско-рекреационных комплексов Северного Казахстана с позиций иерархической пространственной организации и разработке модели, учитывающей взаимосвязь масштабных уровней, функциональной структуры и природно-ландшафтных факторов. В отличие от существующих подходов, ориентированных преимущественно на функциональное или типологическое описание ТРК, в данной работе акцент сделан на выявлении закономерностей пространственной иерархии как основы формирования целостной и устойчивой архитектурной среды.

Предлагаемый подход формирует научный вектор исследования, направленный на интеграцию системного и пространственного анализа в проектировании туристско-рекреационных комплексов. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при разработке архитектурно-планировочных решений, направленных на повышение эффективности пространственной организации туристско-рекреационных территорий в условиях северных регионов.

В качестве объекта исследования рассматриваются туристско-рекреационные зоны, формируемые в условиях Северного Казахстана, в частности, территории Щучинско-Боровской курортной зоны, представляющей собой наиболее показательный пример взаимодействия природно-ландшафтных, функциональных и архитектурно-планировочных факторов. Выбор данной территории обусловлен высокой концентрацией рекреационных ресурсов, активным развитием туристской инфраструктуры и наличием выраженных природных доминант, оказывающих определяющее влияние на пространственную организацию комплексов. Предметом исследования является архитектурно-пространственная структура туристско-рекреационных комплексов, рассматриваемая с позиций системного подхода и иерархической организации, как отмечает Александер С. (1977). С позиций современной архитектурно-градостроительной теории туристско-рекреационный комплекс может быть интерпретирован как сложная, многоуровневая и открытая система, включающая совокупность взаимосвязанных элементов, функций и



процессов. Подобный подход к организации архитектурной среды рассматривается в работах Кристофера Александра (Alexander, 1977), Никоса Салингароса (Salingaros, 2005) и Кевина Линча (Lynch, 1960), посвящённых вопросам пространственной структуры, иерархии и системной организации среды. Существенное значение в понимании организации архитектурной среды имеет концепция иерархичности, рассматриваемая в работах Александра (Alexander, 1977) и Салингароса (Salingaros, 2005) как фундаментальное свойство пространственных структур. Согласно данной концепции, упорядоченность среды достигается через наличие взаимосвязанных уровней различного масштаба, находящихся в отношениях подчинённости и координации.

Особое внимание уделяется выявлению взаимосвязей между функциональными элементами, пространственными уровнями и природно-ландшафтной основой территории, определяющими особенности формирования и функционирования туристско-рекреационных комплексов Северного Казахстана.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Материальную основу исследования составляют научные публикации в области архитектуры, градостроительства, рекреационной географии и территориального планирования, посвящённые вопросам системного и структурно-функционального анализа туристско-рекреационных территорий. Особое внимание уделено исследованиям, рассматривающим пространственную организацию рекреационных систем, принципы формирования туристической инфраструктуры и особенности взаимодействия природных и архитектурных компонентов среды. В качестве эмпирической базы использованы данные о планировочной структуре и функциональном зонировании туристско-рекреационных территорий Северного Казахстана, включая материалы по Щучинско-Боровской курортной зоне и другим территориям, обладающим высоким рекреационным потенциалом.

Дополнительно в исследовании использованы картографические, аналитические и визуально-графические материалы, отражающие особенности природно-ландшафтного каркаса, размещения объектов туристической инфраструктуры, транспортных и пешеходных связей, а также пространственную организацию функциональных зон. Существенную часть исследовательской базы составили результаты натурного обследования и авторского анализа существующих туристско-рекреационных территорий, позволившие выявить особенности их пространственной структуры, характер взаимодействия функциональных элементов и специфику организации рекреационной среды в условиях Северного Казахстана.

В ходе исследования использован комплекс взаимодополняющих методов, обеспечивающих всесторонний анализ объекта исследования. Теоретический анализ и обобщение научных источников были направлены на выявление существующих подходов к изучению туристско-рекреационных систем и определение основных принципов их пространственной организации. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных примеров формирования туристско-рекреационных комплексов позволил выявить общие закономерности и региональные особенности организации рекреационных территорий.

Графо-аналитический метод применялся для выявления пространственной структуры туристско-рекреационных комплексов, определения иерархии элементов и анализа характера пространственных связей между ними. С помощью схем, картографического анализа и графических моделей были определены основные композиционные узлы, направления развития территории и особенности взаимодействия функциональных зон. Метод пространственного моделирования использовался для формирования обобщённой модели иерархической организации туристско-рекреационного комплекса, отражающей взаимосвязь природного каркаса, функциональной структуры и

архитектурной среды. Дополнительно применялись элементы системного анализа, позволяющие рассматривать объект исследования как совокупность взаимосвязанных подсистем, функционирующих в рамках единой пространственной структуры.

Методика исследования основана на поэтапном рассмотрении туристско-рекреационных территорий как сложной пространственной системы. На первом этапе осуществлялось выявление ключевых структурных элементов комплекса, включая центральное ядро, подцентры, периферийные зоны и основные рекреационные узлы. На втором этапе проводился анализ функционального содержания территории, характера использования различных зон и распределения рекреационной активности. Следующий этап был связан с определением типов пространственных связей, включая транспортные, пешеходные и визуальные коммуникации, а также с анализом их роли в обеспечении целостности пространственной структуры.

Заключительным этапом исследования стало установление иерархических отношений между элементами различного масштаба и обобщение полученных результатов в виде модели пространственной структуры туристско-рекреационного комплекса. Предлагаемая модель отражает основные закономерности формирования ТРК в региональных условиях Северного Казахстана и позволяет рассматривать туристско-рекреационные территории как многоуровневые системы, функционирование которых определяется взаимодействием природных, функциональных и архитектурных факторов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования установлено, что туристско-рекреационные комплексы формируются как иерархически организованные пространственные системы, включающие макро-, мезо- и микроуровни пространственной организации. Каждый из уровней выполняет определённую функцию и оказывает влияние на общую структуру туристско-рекреационного комплекса.

Макроуровень представлен природно-ландшафтным каркасом территории, определяющим пространственную основу комплекса и направления его развития. На данном уровне ключевое значение имеют природные условия региона, включая рельеф, водные объекты, лесные массивы и транспортную доступность территории. Именно природный каркас формирует предпосылки размещения основных рекреационных зон и объектов туристической инфраструктуры.

Мезоуровень отражает функционально-зональную организацию территории и распределение рекреационной активности. На данном уровне формируются общественные пространства, зоны размещения, объекты обслуживания, транспортные и пешеходные связи. Выявлено, что эффективность функционирования туристско-рекреационного комплекса зависит от согласованности функциональных зон и логики их пространственного взаимодействия.

Микроуровень формирует архитектурную среду комплекса и обеспечивает реализацию сценариев использования территории. Данный уровень включает архитектурно-планировочные решения, благоустройство, организацию пешеходной среды и визуальных связей. В условиях Северного Казахстана особое значение приобретают вопросы климатической адаптации архитектурной среды и возможности круглогодичного функционирования объектов.

Установлено, что важную роль в обеспечении целостности туристско-рекреационной системы играют пространственные связи, объединяющие элементы различных уровней в единую структуру. Нарушение взаимосвязей между функциональными и пространственными элементами приводит к снижению эффективности использования территории и фрагментации рекреационной среды.



На основе полученных результатов предложена модель иерархической пространственной структуры туристско-рекреационного комплекса, отражающая взаимосвязь природных, функциональных и архитектурных факторов. Предлагаемая модель позволяет рассматривать туристско-рекреационный комплекс как единую пространственную систему, развитие которой определяется согласованностью решений на всех уровнях организации.

Выявлено, что туристско-рекреационные комплексы Северного Казахстана отличаются более компактной и централизованной пространственной структурой по сравнению с комплексами южных регионов, характеризующимися большей протяжённостью связей и более разреженной организацией территории. Подобная особенность обусловлена природно-климатическими условиями и необходимостью концентрации основных функций в пределах ограниченных пространств.

Существенное влияние на формирование пространственной структуры оказывает сезонность функционирования туристско-рекреационных комплексов. Это выражается в изменении интенсивности использования отдельных зон, трансформации рекреационной активности и различной роли периферийных территорий в зависимости от времени года. В связи с этим сезонный фактор становится одним из ключевых условий формирования пространственной организации туристско-рекреационных комплексов Северного Казахстана.

Следует отметить, что пространственная структура туристско-рекреационных комплексов представляет собой многоуровневую систему, включающую несколько взаимосвязанных уровней организации: крупномасштабный (территориальный каркас), среднемасштабный (функционально-зональная организация), локальный (архитектурно-пространственная среда), а также систему пространственных связей, обеспечивающую их интеграцию в единую структуру. Подобная иерархическая организация позволяет рассматривать туристско-рекреационный комплекс как целостную пространственную систему, в которой каждый уровень оказывает влияние на формирование общей композиции территории и особенности её функционирования.

На крупномасштабном уровне (макроуровень) формируется природно-ландшафтный каркас территории, включающий основные природные элементы: водные объекты, рельеф, лесные массивы, открытые пространства и панорамные доминанты. Установлено, что именно данный уровень определяет базовую конфигурацию туристско-рекреационного комплекса, задавая направления его пространственного развития, размещение ключевых функциональных узлов и характер композиционной организации территории. Анализ показал, что природные компоненты выступают не только как рекреационный ресурс, но и как структурообразующий фактор пространственной организации комплекса. Так, на примере Щучинско-Боровской курортной зоны выявлено, что озёрная система, рельефные образования и скальные массивы формируют основные пространственные доминанты территории. Озеро Бурабай, возвышенности и природные панорамные точки определяют локализацию рекреационных центров, направление туристических маршрутов и характер размещения застройки.

Среднемасштабный уровень (мезоуровень) представлен системой функциональных зон и подцентров, обеспечивающих распределение рекреационной активности в пределах комплекса. На данном уровне формируется структура общественных пространств, объектов размещения, сервисной инфраструктуры, транспортных и пешеходных связей. В ходе исследования выявлено, что организация функциональных зон подчиняется принципу градиентного распределения активности — от наиболее интенсивно используемых общественных пространств к территориям с пониженной рекреационной нагрузкой. Установлено, что подобная модель позволяет снизить конфликтность различных видов

рекреационного использования и обеспечить более устойчивое функционирование комплекса. В пределах курортной зоны Борового данная закономерность проявляется в концентрации общественных функций и объектов обслуживания вдоль прибрежных территорий, являющихся наиболее посещаемыми участками, при одновременном размещении гостиничных комплексов, зон спокойного отдыха и природно-рекреационных территорий на периферии основных потоков посетителей.

Локальный уровень (микроуровень) включает архитектурные объекты, элементы благоустройства и предметно-пространственной среды, формирующие непосредственное пространство пребывания человека. Установлено, что именно на данном уровне реализуются основные сценарии использования территории, связанные с отдыхом, прогулочной активностью, визуальным восприятием среды и взаимодействием человека с природным окружением. Пространственная организация микроуровня подчиняется принципам доступности, визуальной ориентации, комфортности и сохранения связи с природным ландшафтом. В частности, в курортной зоне Борового архитектурные объекты ориентированы на основные видовые направления и природные доминанты, а система набережных, прогулочных маршрутов и смотровых площадок обеспечивает непрерывную визуальную и функциональную связь с озёрными и лесными ландшафтами. Выявлено, что подобная организация пространства способствует формированию более целостной рекреационной среды и повышает качество восприятия туристско-рекреационного комплекса.

Особое значение в структуре туристско-рекреационного комплекса имеет система пространственных связей, объединяющая элементы различных уровней организации в единую целостную систему. В ходе проведённого анализа установлено, что связи выполняют не только коммуникационную, но и структурообразующую функцию, обеспечивая согласованность взаимодействия между природными, функциональными и архитектурными компонентами комплекса. Пространственные связи формируют основу внутренней организации территории, определяют характер перемещения посетителей и влияют на эффективность функционирования рекреационной среды.

В результате исследования выделены основные типы связей, формирующих пространственный каркас туристско-рекреационного комплекса: пешеходные, транспортные и визуальные. Пешеходные связи обеспечивают доступность общественных пространств и рекреационных зон, формируя основные направления перемещения посетителей внутри комплекса. Транспортные связи обеспечивают интеграцию отдельных функциональных узлов и связь территории с внешней инфраструктурой. Визуальные связи, в свою очередь, определяют особенности восприятия пространства, акцентируют природные и архитектурные доминанты, а также формируют композиционную целостность среды.

На примере курортной зоны Борового прослеживается формирование системы пешеходных маршрутов, связывающих центральные общественные пространства с объектами размещения, прибрежными территориями и природными зонами. Установлено, что конфигурация маршрутов определяется не только функциональной логикой организации комплекса, но и особенностями природного ландшафта, включая рельеф, береговые линии и расположение природных доминант. Подобный принцип организации способствует сохранению визуальной связи с природной средой и обеспечивает более органичное включение рекреационной инфраструктуры в существующий ландшафт.

В результате проведённых исследований сформирована модель иерархической пространственной структуры туристско-рекреационного комплекса, включающая взаимосвязанные уровни и элементы пространственной организации, находящиеся в постоянном функциональном и композиционном взаимодействии. Предлагаемая модель отражает основные закономерности формирования туристско-рекреационных комплексов и позволяет рассматривать их как единую многоуровневую систему, в которой каждый

уровень выполняет специфическую роль, но при этом не существует автономно, а включён в общую структуру пространственных связей и зависимостей.

В рамках данной модели крупномасштабный уровень формирует природно-пространственный каркас территории, определяющий исходные условия развития туристско-рекреационного комплекса. На этом уровне фиксируются ключевые природные доминанты, рельефные особенности, водные системы и ландшафтные структуры, которые задают общую композиционную ось развития территории и определяют потенциальные направления размещения функциональных элементов. Среднемасштабный уровень обеспечивает функционально-зональную организацию комплекса, включая распределение рекреационной активности, формирование общественных пространств, размещение объектов обслуживания и организацию транспортно-пешеходных связей. Именно на этом уровне происходит структурирование потоков посетителей и формирование устойчивой системы функциональных связей между различными частями комплекса.

Локальный уровень, в свою очередь, формирует архитектурное и предметно-пространственное наполнение среды, включая конкретные объекты застройки, элементы благоустройства, малые архитектурные формы и детали пространственной организации. На данном уровне реализуются непосредственные сценарии взаимодействия человека с окружающей средой, формируется визуальное восприятие территории и обеспечивается комфортность пребывания пользователей в пределах туристско-рекреационного комплекса.

Установлено, что эффективность функционирования туристско-рекреационного комплекса во многом определяется степенью согласованности решений между всеми уровнями пространственной организации. Нарушение взаимосвязей между природным каркасом, функциональной структурой и архитектурной средой приводит к фрагментации территории, снижению устойчивости рекреационной системы и ухудшению качества пространственной среды. В то же время гармоничное взаимодействие всех уровней обеспечивает формирование целостного, устойчивого и адаптивного туристско-рекреационного комплекса, способного эффективно функционировать в различных природно-климатических и эксплуатационных условиях.

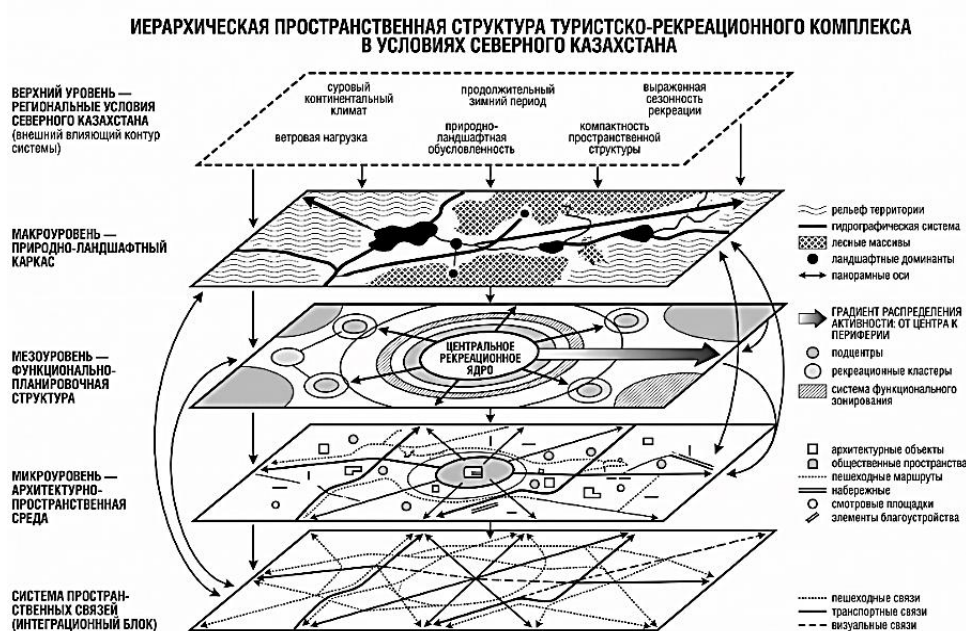


Рисунок 1. Иерархическая модель пространственной структуры ТРК

Примечание – составлено автором

В результате проведённого исследования предложена модель иерархической пространственной организации туристско-рекреационного комплекса, основанная на взаимосвязи масштабных уровней, функциональной структуры и системы пространственных связей. Предлагаемая модель рассматривает туристско-рекреационный комплекс как целостную пространственную систему, функционирование которой определяется согласованностью природных, функциональных и архитектурно-планировочных компонентов. Подобный подход позволяет рассматривать ТРК не как совокупность отдельных объектов, а как взаимосвязанную структуру, формирующую единую рекреационную среду.

В структуре модели выделяются несколько взаимосвязанных элементов: крупномасштабный уровень, формирующий природно-ландшафтный каркас территории; среднемасштабный уровень, представленный системой функциональных зон и подцентров; локальный уровень, включающий архитектурные объекты, элементы благоустройства и предметно-пространственной среды; а также система связей, обеспечивающая целостность и непрерывность пространственной структуры. Установлено, что каждый из перечисленных уровней выполняет собственную функцию в формировании туристско-рекреационного комплекса и одновременно находится во взаимодействии с остальными элементами системы.

Крупномасштабный уровень определяет общую пространственную организацию комплекса и формирует базовые направления его развития. На данном уровне ключевое значение имеют природные компоненты территории – рельеф, водные объекты, лесные массивы и панорамные доминанты, выступающие основой пространственного каркаса ТРК. Среднемасштабный уровень обеспечивает распределение функциональных зон, организацию рекреационной активности и размещение основных объектов обслуживания. Именно на этом уровне формируется структура общественных пространств, транспортных и пешеходных коммуникаций, а также взаимосвязь между различными функциональными элементами комплекса. Локальный уровень формирует непосредственную архитектурную среду пребывания человека, включая объекты размещения, прогулочные пространства, элементы благоустройства и визуально-композиционные решения.

Взаимодействие указанных уровней носит иерархический характер, при котором элементы нижестоящих уровней подчинены структуре более высокого порядка. Установлено, что пространственные решения локального уровня во многом определяются особенностями функциональной организации территории, тогда как функциональная структура, в свою очередь, зависит от природно-ландшафтного каркаса территории. Подобная система подчинённости обеспечивает согласованность пространственной организации комплекса и формирование единой композиционной структуры.

**Таблица 1.** Таблица иерархической структуры ТРК

Уровень	Пространственные элементы	Функции	Пример (Боровое)	Принципы
Крупный (макро)	озёра, рельеф, лес, панорамы	формирование каркаса	озеро Бурабай, Окжетпес	доминанта, природная обусловленность
Средний (мезо)	зоны, подцентры, узлы	распределение активности	набережная, курортные зоны	градиент, зонирование
Локальный (микро)	здания, пространства, элементы среды	повседневное использование	отели, прогулочные зоны	комфорт, доступность
Связи	маршруты, оси, коммуникации	интеграция системы	пешеходные маршруты	связность, непрерывность
<i>Примечание – составлено автором</i>				



Особую роль в модели играет система пространственных связей, выступающая интегрирующим элементом всей структуры. Связи обеспечивают взаимодействие между функциональными зонами, архитектурными объектами и природными территориями, формируя непрерывность пространственной среды. Выявлено, что эффективность функционирования туристско-рекреационного комплекса напрямую зависит от степени взаимосвязанности всех уровней пространственной организации и согласованности их развития.

В ходе обсуждения полученных результатов установлено, что предложенная модель пространственной организации туристско-рекреационного комплекса в полной мере согласуется с положениями системного подхода и теории архитектурной иерархии, в рамках которых пространство рассматривается как сложная совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых элементов, организованных по принципу структурной, функциональной и масштабной соподчинённости. В данном контексте туристско-рекреационный комплекс может быть интерпретирован как открытая динамическая система, развитие которой определяется не только внутренней логикой организации, но и воздействием природных, социально-экономических и пространственно-планировочных факторов. Подобное понимание архитектурной среды как многоуровневой системы согласуется с положениями системного подхода, отражёнными в работах Alexander (1977), Lynch (1960) и Salingaros (2005).

Проведённый анализ показал, что туристско-рекреационный комплекс не представляет собой набор автономных функциональных зон или отдельных объектов инфраструктуры, а формирует целостную, внутренне связанную систему, в которой все элементы находятся в постоянном взаимодействии. При этом изменения на одном уровне пространственной организации неизбежно отражаются на функционировании других уровней, что подтверждает наличие системных связей и взаимной зависимости между макро-, мезо- и микроуровнями. В отличие от традиционных подходов, ориентированных преимущественно на функциональное зонирование и локальное размещение объектов туристской инфраструктуры, предложенная модель учитывает многоуровневый характер пространственной организации, взаимное влияние уровней и ключевую роль пространственных связей в формировании целостной структуры комплекса. Аналогичные вопросы функциональной организации рекреационных территорий рассматривались в исследованиях Квартальнова (2002) и Веденина (1982), однако пространственная иерархия туристско-рекреационных комплексов раскрыта недостаточно полно.

Сравнение полученных результатов с существующими научными исследованиями показало, что в большинстве работ туристско-рекреационные комплексы рассматриваются либо преимущественно с позиции функциональной организации, либо как элементы территориального планирования и развития туристской инфраструктуры. При этом вопросы пространственной иерархии, системной взаимосвязи масштабных уровней, а также формирования целостной архитектурно-пространственной структуры остаются недостаточно разработанными. В рамках настоящего исследования предпринята попытка интеграции функционального, территориального и архитектурно-пространственного подходов, что позволяет перейти к рассмотрению туристско-рекреационного комплекса как единой многоуровневой пространственной системы, функционирующей на основе взаимодействия природных, функциональных и архитектурных компонентов. Такой подход обеспечивает более комплексное понимание закономерностей формирования рекреационной среды и её пространственной организации.

Дополнительно установлено, что в условиях Северного Казахстана иерархическая структура туристско-рекреационных комплексов приобретает ряд характерных региональных особенностей. К ним относятся повышенная компактность пространственной организации, выраженная централизация функциональных зон,

усиление роли ядра комплекса, а также сокращение протяжённости и усложнение структуры пространственных связей. Выявлено, что подобные особенности обусловлены совокупным воздействием природно-климатических факторов, включая продолжительный зимний период, значительные ветровые нагрузки, резкую сезонную контрастность, а также специфику использования рекреационных территорий в течение года. В связи с этим возрастает необходимость формирования более плотной и структурно устойчивой пространственной организации, обеспечивающей эффективное функционирование комплекса при минимизации инфраструктурных затрат и повышении устойчивости к внешним воздействиям.

Кроме того, установлено, что сезонность функционирования оказывает непосредственное и системное влияние на характер пространственной организации туристско-рекреационных комплексов. В различные периоды года происходит существенная трансформация интенсивности использования функциональных зон, изменяется значимость общественных пространств, перераспределяются потоки посетителей, а также трансформируются сценарии рекреационной активности. Это приводит к необходимости формирования гибкой и адаптивной пространственной структуры, способной реагировать на изменения внешних условий и обеспечивать устойчивое функционирование комплекса в течение всего года. Таким образом, сезонность выступает не только как внешнее ограничение, но и как один из ключевых факторов, формирующих логику пространственной организации туристско-рекреационных систем.

Таким образом, результаты проведённого исследования подтверждают выдвинутую гипотезу о том, что туристско-рекреационные комплексы формируются как иерархически организованные пространственные системы, структура которых определяется комплексным взаимодействием природных, функциональных и архитектурно-планировочных факторов. При этом предложенная модель иерархической пространственной организации позволяет не только описывать существующие туристско-рекреационные территории, но и служит инструментом их прогнозирования и проектирования.

Предложенная модель может рассматриваться как теоретическая основа для дальнейших исследований в области архитектуры, градостроительства и территориального планирования туристско-рекреационных систем, а также как практический инструмент при разработке проектов и стратегий развития туристско-рекреационных комплексов в условиях Северного Казахстана и других регионов со схожими природно-климатическими характеристиками.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведённое исследование позволило установить, что туристско-рекреационные комплексы в условиях Северного Казахстана формируются как сложные иерархически организованные пространственные системы, характеризующиеся многоуровневой структурой и устойчивыми взаимосвязями между её элементами. В их составе выделяются взаимосвязанные макро-, мезо- и микроуровни, каждый из которых выполняет специфическую функцию в формировании целостной архитектурно-пространственной среды. Взаимодействие данных уровней обеспечивает согласованность природных, функциональных и архитектурных компонентов, а также определяет общую логику пространственной организации территории.

Установлено, что ключевую роль в формировании структуры туристско-рекреационных комплексов играет природно-ландшафтный каркас, выступающий базовой основой пространственного развития и задающий основные направления размещения функциональных элементов. Природные компоненты территории — рельеф, водные объекты, лесные массивы и панорамные доминанты — формируют устойчивую пространственную



основу, определяющую конфигурацию рекреационных зон и характер их взаимного расположения. При этом функционально-зональная организация и архитектурная среда рассматриваются как уровни, обеспечивающие распределение рекреационной активности, дифференциацию пространств по степени интенсивности использования, а также реализацию различных сценариев взаимодействия человека с окружающей средой.

Выявлено, что региональные особенности Северного Казахстана оказывают непосредственное влияние на иерархическую структуру туристско-рекреационных комплексов, определяя характер пространственных связей, степень компактности планировочной организации и принципы размещения функциональных зон. Это позволяет рассматривать предложенную модель не как универсальную абстрактную схему, а как адаптированную пространственную систему, учитывающую специфику северных природно-климатических условий.

В ходе проведённого исследования установлено, что туристско-рекреационные комплексы в условиях Северного Казахстана представляют собой сложные иерархически организованные пространственные системы, функционирование которых определяется взаимодействием природных, функциональных и архитектурно-планировочных компонентов. Выявлено, что их структура формируется на основе взаимосвязанных макро, мезо- и микроуровней, каждый из которых выполняет самостоятельную, но взаимодополняющую роль в обеспечении целостности пространственной организации территории.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что устойчивость и эффективность туристско-рекреационных комплексов напрямую зависят от степени согласованности их пространственной структуры, а также от характера взаимодействия между природным каркасом территории и искусственно формируемой средой. При этом природно-ландшафтные факторы выступают не только как исходное условие размещения объектов, но и как активный структурообразующий элемент, определяющий конфигурацию функциональных зон и направленность развития рекреационных территорий.

Установлено, что предложенная в работе модель иерархической пространственной организации позволяет более полно и системно интерпретировать структуру туристско-рекреационных комплексов по сравнению с традиционными подходами, ограниченными преимущественно функциональным зонированием. В рамках разработанной модели комплекс рассматривается как единая пространственная система, в которой каждый уровень организации связан с другими через систему устойчивых иерархических и функциональных связей. Это обеспечивает возможность комплексного анализа как существующих, так и проектируемых рекреационных территорий.

Особое значение в ходе исследования приобретает выявление роли пространственных связей, обеспечивающих интеграцию всех уровней системы. Показано, что именно система связей формирует целостность туристско-рекреационного комплекса, определяет характер перемещения пользователей, структуру рекреационных потоков и визуально-композиционные характеристики среды. Таким образом, пространственные связи выступают ключевым элементом, обеспечивающим функционирование комплекса как единой системы.

Дополнительно установлено, что туристско-рекреационные комплексы Северного Казахстана обладают рядом специфических особенностей, обусловленных природно-климатическими условиями региона. К ним относятся компактность пространственной структуры, выраженная централизация функциональных зон, а также повышенная зависимость организации территории от сезонных факторов. Эти особенности требуют особого подхода к проектированию и развитию рекреационных территорий, ориентированного на гибкость пространственной структуры и её адаптивность к изменяющимся условиям эксплуатации.

С теоретической точки зрения полученные результаты дополняют существующие представления о туристско-рекреационных системах, расширяя их за счёт введения пространственно-иерархического подхода. Предложенная концепция позволяет рассматривать туристско-рекреационные комплексы как динамичные многоуровневые системы, находящиеся в постоянном взаимодействии с природной и социальной средой.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанной модели при проектировании, реконструкции и развитии туристско-рекреационных территорий. Она может быть использована при формировании генеральных планов, разработке концепций территориального развития, а также при обосновании архитектурно-планировочных решений в условиях сложного природного ландшафта.

Вместе с тем следует отметить, что полученные результаты отражают специфику Северного Казахстана и требуют адаптации при их применении в других природно-климатических и градостроительных условиях. Это открывает перспективы для дальнейших исследований, направленных на проверку универсальности предложенной модели и её корректировку с учётом региональных особенностей.

Перспективы дальнейших исследований связаны с углублённым изучением механизмов трансформации туристско-рекреационных комплексов под воздействием сезонности, климатических изменений и роста туристической нагрузки. Отдельного внимания заслуживает разработка цифровых и параметрических моделей пространственной организации ТРК, позволяющих прогнозировать их развитие и оптимизировать архитектурно-планировочные решения в долгосрочной перспективе.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Исследование не получало целевого финансирования.

**ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ОДОБРЕНИИ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМ ЭТИЧЕСКИМ КОМИТЕТОМ (IRB):** Данное исследование выполнено в соответствии с применимыми академическими, институциональными и национальными этическими стандартами. Работа носит теоретико-аналитический и проектно-методологический характер и основана на изучении научных источников, картографических материалов, а также результатах архитектурно-градостроительного анализа туристско-рекреационных территорий Северного Казахстана.

Исследование не включало участие людей, не предусматривало проведение опросов, интервью, экспериментов с участием человека или животных, а также не затрагивало персональные или конфиденциальные данные. В связи с этим рассмотрение и одобрение Институциональным этическим комитетом (IRB) или эквивалентным органом не требовалось.

**ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ИНФОРМИРОВАННОМ СОГЛАСИИ:** Исследование не включало участие людей, проведение анкетирования, интервью или любых форм взаимодействия с респондентами. Все используемые материалы основаны на анализе открытых научных источников, статистических данных и картографической информации.

В связи с этим получение информированного согласия от участников исследования не требовалось.

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:** Данное исследование основано на теоретическом анализе, систематизации научных источников, а также на обработке открытых картографических и аналитических материалов, относящихся к туристско-рекреационным территориям Северного Казахстана.

Специальные экспериментальные или эмпирические данные в ходе исследования не создавались. Все использованные материалы являются общедоступными либо получены из открытых источников научного и статистического характера.



При необходимости исходные аналитические материалы, схемы и обобщённые данные, использованные в работе, могут быть предоставлены соответствующим автором по обоснованному запросу.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Авторы выражают благодарность коллегам Казахского агротехнического исследовательского университета им. С. Сейфуллина за методологическую поддержку и участие в обсуждении материалов исследования. Благодарим анонимных рецензентов за ценные замечания, способствовавшие повышению качества статьи.

#### **УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО**

#### **ИНТЕЛЛЕКТА:**

При подготовке статьи использовались инструменты генеративного искусственного интеллекта для редактирования текста, уточнения формулировок и структурирования материала. Все научные положения, интерпретации и выводы принадлежат авторам и полностью ими проверены. Используемая модель ИИ оформлена в списке литературы следующим образом: ChatGPT. (2026, April). Editing and structuring an academic article on the hierarchical spatial organization of tourist and recreational complexes [Large language model].

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Alexander, C. (1977). *A pattern language: Towns, buildings, construction*. Oxford University Press.
- Alexander, C. (2002). *The nature of order: An essay on the art of building and the nature of the universe*. Center for Environmental Structure.
- Alexander, C., & Salingaros, N. A. (2013). Fundamental properties of living structure in architecture. *Urban Science Review*, 12(2), 15–28.
- Hillier, B., & Hanson, J. (1984). *The social logic of space*. Cambridge University Press.
- Jiang, B. (2015). Head/tail breaks for visualization of city structure and dynamics. *Cities*, 43, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.12.001>
- Rowe, C., & Koetter, F. (1978). *Collage city*. MIT Press.
- Salingaros, N. A. (2000). Hierarchical organization in architecture and urban design. *Journal of Urban Design*, 5(3), 223–237. <https://doi.org/10.1080/713683968>
- Trancik, R. (1986). *Finding lost space: Theories of urban design*. Van Nostrand Reinhold.
- Бакулов, А.Н. (2018). Архитектурная туристско-рекреационная система: структура, свойства, отношения. *Архитектура и строительство России*, 3, 45–52. // Bakulov, A.N. (2018). Arkhitekturnaya turistsko-rekreatsionnaya sistema: struktura, svoystva, otnosheniya [Architectural tourist and recreational system: structure, properties, and relations]. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*, 3, 45–52. (In Russ.)
- Иванов, В.В. (2019). Структурно-функциональный подход как методологическая основа моделирования градостроительных систем. *Градостроительство*, 2, 12–18. // Ivanov, V.V. (2019). Strukturno-funktsional'nyy podkhod kak metodologicheskaya osnova modelirovaniya gradostroitel'nykh sistem [Structural-functional approach as a methodological basis for modeling urban planning systems]. *Gradostroitel'stvo*, 2, 12–18. (In Russ.)
- Куленова, Г.К. (2021). Классификация и типология объектов ландшафтной архитектуры. *Вестник архитектуры и дизайна*, 4, 67–74. // Kulenova, G. K. (2021). Klassifikatsiya i tipologiya ob"ektov landshaftnoy arkhitektury [Classification and typology of landscape architecture objects]. *Vestnik arkhitektury i dizayna*, 4, 67–74. (In Russ.)
- Сергеев, П.Н. (2020). Определение и обоснование функциональной структуры архитектурных объектов на основе системного подхода. *Архитектурная наука*, 1, 23–30. // Sergeev, P.N. (2020). Opredelenie i obosnovanie funktsional'noy struktury

arkhitekturnykh ob"ektov na osnove sistemnogo podkhoda [Definition and justification of the functional structure of architectural objects based on a systems approach]. Arkhitekturnaya nauka, 1, 23–30. (In Russ.)

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Садвақас Жамбыл Маратұлы** – сәулет магистрі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

**Садвақас Жамбыл Маратұлы** – магистр архитектуры, казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

**Sadvakas Zhambyl Maratuly** – Master of Architecture, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

e-mail: D84043@kazatu.edu.kz,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4052-8830>



**Корнилова Алла Александровна** – сәулет докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

**Корнилова Алла Александровна** – доктор архитектуры, профессор Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

**Kornilova Alla Aleksandrovna** – doctor of architecture, professor S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

e-mail: 5328864@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1852-0712>



**Есенбаев Аркен Маратович** – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

**Есенбаев Аркен Маратович** – магистр технических наук, старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

**Yesenbaev Arken Maratovich** – master of technical sciences, Senior lecturer, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

e-mail: yess.arken@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5822-2602>



**Дюсенова Дана Галымжанкызы** – техника ғылымдарының магистрі, «Сәулет» білім беру бағдарламасының PhD докторанты, Қазақ бас сәулет-құрылыс академиясы (KazGASA), Алматы қ., Қазақстан

**Дюсенова Дана Галымжановна** – магистр технических наук, докторант PhD образовательной программы «Архитектура», Казахская головная архитектурно-строительная академия (KazGASA), г. Алматы, Казахстан

**Dyussenova Dana Galymzhanovna** – Master of Technical Sciences, PhD student in the educational program «Architecture», Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil Engineering (KazGASA), Almaty, Kazakhstan

e-mail: d.diusenova@kazgasa.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3415-5639>



**Гурская Оксана Евгеньевна** – PhD докторант, өнер магистрі, оқытушы, Сәулет құрылыс және энергетика мектебі, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті», Өскемен қ., Қазақстан

**Гурская Оксана Евгеньевна** – PhD докторант, магистр искусствоведческих наук, преподаватель, Школа архитектуры, строительства и энергетики, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Gurskaya Oksana Evgenyevna** – PhD student, Master of Arts, Lecturer, School of architecture, civil engineering and energy, «D. Serikbayev East Kazakhstan technical university», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: ogurskaya@edu.ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7037-8979>






[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_10](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_10)

MPNТИ 67.09.33

## ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ДИАТОМИТА

## ДИАТОМИТ НЕГІЗІНДЕГІ ЖЕҢІЛ БЕТОНДАР

## LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON DIATOMITE

А.Т. Таскалиев \*, К.А. Нариков , Б.Т. Шакешев , Б.Л. Идрисов ,  
К.М. Джумабаева 

Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Казахстан

\*Автор-корреспондент: Таскалиев Азамат Тюлепкалиевич, Taskalievazamat@mail.ru

### Ключевые слова:

диатомит, бетон,  
технология, термиз,  
теплопорит, газобетон,  
термолитобетон,  
высокотемпературный  
обжиг, физико-  
механические свойства.

### АННОТАЦИЯ

Данная исследовательская работа заключается в использовании диатомита Актюбинской области для современного производства строительных материалов, необходимых в решении экономической задачи, снижения энергопотребления в жизнеобеспечении зданий и сооружений, ключевым параметром которого является коэффициент теплопроводности строительных материалов с точки зрения теплоизоляции зданий и сооружений. Целью научно-исследовательской работы является разработка технологии производства бетонных изделий и конструкций на основе диатомита для современного гражданского и промышленного строительства. Диатомит исследовали как самостоятельный материал и как сырье для изготовления термолита, полученного путем высокотемпературного обжига диатомита при температуре 1150°C, используемых в качестве заполнителя для производства бетонных изделий, таких как термиз, теплопорит, газобетон и термолитобетон. Были определены средняя плотность, прочность на сжатие, водопоглощение, истираемость и коэффициент теплопроводности лабораторных бетонных образцов на основе диатомита и термолита по методике, соответствующей нормативным строительным документам. Для улучшения физико-механических свойств теплопорита использовали модифицирующую добавку MasterCast 727 в количестве 2,0% (7 кг) от массы цемента 350 кг состава теплопорита, в результате снизилось водопоглощение с 34,8 до 27,4% (на 21,3%), повысилась прочность с марки М25 (В1,5) до марки М35 (В2,5) и марка истираемости с G3 до G2. В статье представлены результаты проведенных научных исследований основных физико-механических свойств термиза, теплопорита, газобетона и термолитобетона. В дальнейших научно-исследовательских работах будут использованы результаты, отраженные в статье для разработки технологии производства бетонных изделий с использованием MasterCast 727 и других добавок.





#### **Түйінді сөздер:**

диатомит, бетон, технология, термиз, жылу пориті, газдалған бетон, термолит бетон, жоғары температуралы күйдіру, физика-механикалық қасиеттері.

#### **ТҮЙІНДЕМЕ**

Бұл зерттеу жұмысы Ақтөбе облысының диатомитін экономикалық міндеттерді шешуде қажетті құрылыс материалдарын заманауи өндіру, ғимараттар мен құрылыстарды тіршілікпен қамтамасыз етуде энергия тұтынуды азайту үшін пайдаланудан тұрады, оның негізгі параметрі ғимараттар мен құрылыстарды жылу оқшаулау тұрғысынан құрылыс материалдарының жылу өткізгіштік коэффициенті болып табылады. Ғылыми-зерттеу жұмысының мақсаты заманауи азаматтық және өнеркәсіптік құрылыс үшін диатомит негізіндегі бетон бұйымдары мен конструкцияларын өндіру технологиясын әзірлеу болып табылады. Диатомит дербес материал ретінде және термиз, жылу оқшаулағыш бетон, газдалған бетон және термолит бетон сияқты бетон бұйымдарын өндіру үшін агрегат ретінде пайдаланылатын 1150 °C температурада диатомитті жоғары температурада күйдіру арқылы алынған термолит жасау үшін шикізат ретінде зерттелді. Нормативтік құрылыс құжаттарына сәйкес әдістеме бойынша диатомит және термолит негізіндегі зертханалық бетон үлгілерінің орташа тығыздығы, қысу беріктігі, суды сіңіру, тозу және жылу өткізгіштік коэффициенті анықталды. Жылу оқшаулағыш бетонның физика-механикалық қасиеттерін жақсарту үшін mastercast 727 модификациялаушы қоспасы пайдаланылды, цемент массасының 2,0 % (7 кг) мөлшерінде 350 кг жылу поритінің құрамы, нәтижесінде суды сіңіру 34,8-тен 27,4 %-ға дейін (21,3 %-ға) төмендеді, беріктігі M25 (B1,5) маркасынан M35 (B2,5) маркасына дейін өсті және G3-тен G2-ге дейін тозу маркасы. Мақалада термиздің, термопориттің, газдалған бетонның және термолит бетонның негізгі физика-механикалық қасиеттеріне жүргізілген ғылыми зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Әрі қарайғы ғылыми-зерттеу жұмыстарында mastercast 727 және басқа да қоспаларды пайдалана отырып, бетон бұйымдарын өндіру технологиясын әзірлеу үшін мақалада көрсетілген нәтижелер пайдаланылатын болады.

#### **keywords:**

diatomite, concrete, technology, thermite, heat-resistant, aerated concrete, thermolite concrete, high-temperature firing, physical and mechanical properties.

#### **ABSTRACT**

This research work involves the use of diatomite from the Aktobe region for the modern production of building materials necessary for solving the economic problem of reducing energy consumption in the life support of buildings and structures, the key parameter of which is the thermal conductivity coefficient of building materials in terms of thermal insulation of buildings and structures. The aim of the research work is to develop a technology for the production of concrete products and structures based on diatomite for modern civil and industrial construction. Diatomite was studied as an independent material and as a raw material for the production of thermolite, obtained by high-temperature calcination of diatomite at a temperature of 1150°C, used as a filler for the production of concrete products such as thermite, teploporite, aerated concrete, and thermolite concrete. The average density, compressive strength, water absorption, abrasion resistance, and thermal conductivity coefficient of laboratory concrete samples based on diatomite and thermolite were determined using methods compliant with relevant construction standards. To improve the physical and mechanical properties of the heat-resistant material, a modifying additive MasterCast 727 was used in an amount of 2.0% (7 kg) of the 350 kg mass of cement in the heat-resistant concrete composition. As a result, water absorption decreased from 34.8 to 27.4% (by 21.3%), strength increased from grade M25 (B1,5) to grade M35 (B2,5), and abrasion

resistance increased from G3 to G2. The article presents the results of scientific research on the main physical and mechanical properties of thermite, heat-resistant concrete, aerated concrete, and thermolite-concrete. The results presented in the article will be used in further scientific research to develop a technology for the production of concrete products using MasterCast 727 and other additives.

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальностью научного исследования диатомита Актюбинской области является анализ возможности применения данного природного сырья для обеспечения строительного рынка Республики Казахстан современными энергосберегающими строительными материалами.

Важность научного исследования заключается в разработке новых современных технологий промышленного производства на основе неиспользованных запасов месторождений диатомита Актюбинской области в настоящее время.

Промышленное использование диатомита основано на ряде его физических и химических свойств (Gupta, 2023), используется как гидравлическая добавка для производства портландцемента (Sharma и др., 2021), легких бетонов, керамических и теплоизоляционных изделий (И.А. Садаков, 2015).

Основным фактором повышения эффективности строительства является снижение материалоемкости, уменьшение массы и теплопроводности строительных конструкций без потери их несущей способности и других эксплуатационных свойств. Для достижения этой цели необходима разработка технологии и применение легких и прочных бетонов с пониженной теплопроводностью и водопроницаемостью.

В зависимости от вида применяемого пористого заполнителя легкие бетоны разделяют на керамзитобетон, аглопоритобетон, шлакобетон, пемзобетон, термолитобетон и т.д. Бетон с добавлением обожженного диатомита используется в качестве теплоизолятора, так как состоит из мелких частиц, которые заполняют пустоты, уплотняя бетонную матрицу (Barreto & Bautista, 2024).

В легком бетоне в качестве заполнителей используют щебень из пемзы (Parhizkar и др., 2012), керамзит (M & Abbas, 2022), вулканический пористый известняк и доломит, перлит, вулканический туф, вермикулит (Kumar и др., 2022; Vijayan и др., 2020), известняк-ракушечник, известковый туф, опоку, трепел, диатомит (Vijayan и др., 2020; Cáceres и др., 2019), топливные шлаки, пористые металлургические шлаки, вспученные при обжиге керамзита, термозита, перлита, вермикулита, термолита и др.

По своему происхождению диатомит относится к биохимическим горным породам, относящимся к группе кремнистых пород (М. Н. Баранова и др., 2011). Диатомит – это осадочная порода, состоящая в основном из аморфного или активного кремнезема (Sharma и др., 2021).

Диатомит представляет собой рыхлую или сцементированную кремнистую породу белого или светло-серого цвета, состоящую более 50 % из панцирей диатомей, содержит 70-98 % растворимого в щелочах кремнезема, обладает высокой пористостью до 75 % и малой объемной массой от 420 до 1250 кг/м<sup>3</sup> (ГКЗ СССР, 1984).

Результаты исследований важны для применения диатомита – уникального природного материала для современного гражданского и промышленного строительства Республики Казахстан.

При решении задач исследования предполагалось использование диатомита в двух видах.

Во-первых, применение диатомита как самостоятельного материала в качестве заполнителя для производства бетонных изделий.



Во-вторых, применение продукта переработки диатомита – термолита (Barreto & Bautista, 2024), полученного высокотемпературным обжигом, в составе легких бетонных изделий и конструкций. Диатомит в качестве добавки после обжига и измельчения может значительно повысить прочность, текучесть, удобоукладываемость и долговечность бетона (Du, 2019).

Для решения таких задач необходимо спроектировать составы бетонных изделий экспериментальным путем, получить оптимальные составы строительных материалов, соответствующие нормативным строительным документам Республики Казахстан.

Важной задачей является определение основных физико-механических свойств изготовленных по разработанной технологии исследователями в лабораторных условиях модифицированных бетонных образцов. В исследованиях для улучшения физико-механических свойств бетонных изделий применяли модифицирующую добавку MasterCast 727 (MasterCast® 727, б. д.).

В современном производстве строительных материалов одной из важнейших экономических задач является снижение энергопотребления для жизнеобеспечения зданий и сооружений. Ключевым параметром является коэффициент теплопроводности строительных материалов с точки зрения теплоизоляции зданий и сооружений.

Целью таких расчетов является производство строительных материалов, предназначенных для минимизации теплообмена между окружающей средой и внутренним пространством зданий и сооружений через ограждающие конструкции, обеспечивающие максимальный комфорт для людей, с низкими затратами на отопление и вентиляцию.

Положительные результаты проведенного исследования по разработке технологии производства легких модифицированных бетонных изделий на основе диатомита позволят в будущем расширить рынок строительных материалов Республики Казахстан высококачественной строительной продукцией.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследованиях использовали диатомит Актюбинской области и модифицирующую добавку MasterCast 727.

Для решения поставленной задачи необходимо исследовать свойства бетонных изделий с использованием диатомита западного региона Казахстана, экспериментальным путем получить лабораторные образцы по разработанной технологии производства легких бетонов и определить их основные физико-механические свойства согласно соответствующим нормативным строительным документам Республики Казахстан.

При изготовлении лабораторных бетонных образцов применяли следующее оборудование:

- измельчение диатомита и качественное смешивание компонентов предлагаемого состава бетонных изделий производилось в лабораторной шаровой мельнице МШЛ-1;
- высокотемпературный обжиг диатомита при температуре 1150°C осуществлялся в электропечи сопротивления СНОЛ 50/1300;
- в приготовлении растворной смеси использовали чашу и лопатку затворения;
- изготовление лабораторных образцов – кубов производилось с помощью форм куба 2 ФК-100;
- изготовление бетонных образцов осуществлялось с помощью виброплощадки СМЖ-539-220;
- для ускорения твердения лабораторных бетонных образцов использовали пропарочную камеру КУП-1;
- предварительный прогрев материала до 60°C осуществлялся в электропечи СНОЛ 67/350;

- для измерения линейных размеров и массы образцов использовали штангенциркуль ШЦ-200 и электронные весы ACS;
- прочность на сжатие образцов определяли на испытательном прессе ПГМ-МГ4;
- теплопроводность образцов определяли с помощью прибора ИТП-МГ-4 «ЗОНД»;
- для определения марки стираемости применяли круг истирания лабораторный ЛКИ-4;

- для просеивания материала использовали сито с размерами ячеек 2 мм.

В результате проведенных научных исследований были запроектированы составы теплопорита, термиза, термолитобетона в соответствии с требованиями ГОСТа 25820-2000 «Бетоны легкие. Технические условия» и газобетона (ячеистый бетон) в соответствии с требованиями ГОСТа 25485-2019 «Бетоны ячеистые. Общие технические условия».

Для изготовления лабораторных бетонных образцов, таких как теплопорит, термиз и газобетон, использовался диатомит (песок диатомитовый фракции менее 2 мм), для термолитобетона – песок термолитовый (обожженный диатомитовый песок при температуре 1150°C). В качестве вяжущего применяли цемент М500 (*Портландцемент со шлаком ЦЕМ III/A-Ш 42,5Н*, б. д.). Для затворения смесей использовали воду подходящего качества и объема (ГОСТ 23732 - 2011 «Вода для бетонов и строительных растворов», 2012).

Для изготовления газобетона, относящегося к группе неавтоклавных газобетонов (НААС) (С.А. Стельмах и др., 2017), использовалась алюминиевая пудра ПАП 1 (*Пудра алюминиевая пигментная ПАП-1*, б. д.) в качестве газообразователя, каустическая сода (Производитель АО «Каустик», г. Павлодар, Республика Казахстан) для усиления реакции газообразования в газобетонном массиве и сульфат натрия (*Натрий сернокислый (Сульфат натрия)*, б. д.) для ускорения процесса твердения газобетонной смеси.

Определение физико-механических свойств бетонных изделий осуществляли через 28 суток с момента укладки смеси в формы (ГОСТ 18105 - 2018 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности», 2019).

В результате проведения научных исследований согласно нормативным документам были определены:

- средняя плотность (ГОСТ 12730.1 - 2020 «Бетоны. Методы Определения Плотности», 2021)

- водопоглощение (ГОСТ 12730.3 - 2020 «Бетоны. Метод Определения Водопоглощения», 2021);

- поглощение жидкости бетоном связано с механизмами разрушения, влияющими на долговечность;

- прочность (ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам», 2012), прочность на сжатие газобетонов определяется двумя методами испытаний: высушив при температуре не выше 50 °С при влажности 6 % ± 2 % или высушив при температуре 70 °С и умножив результат на коэффициент 0,8;

- теплопроводность (ГОСТ 7076-99 «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме», 1999);

- стираемость (ГОСТ 13087 - 2018 «Бетоны. Методы определения стираемости», 2018).

Для проведения научных исследований использовались приборы и оборудование лаборатории «Строительные материалы и строительная теплофизика» кафедры «Архитектура и строительство» Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для научного исследования по использованию диатомита в производстве легких бетонов была проведена работа по измельчению кусков диатомита и получению фракции с размерами зерен менее 2 мм (рис. 1).

Измельчение производилось с использованием лабораторной шаровой мельницы МШЛ 1 (Дробильно-измельчительное оборудование, б. д.).

В таблице 1 представлены результаты лабораторных исследований по определению физико-механических свойств диатомита фракции с размерами зерен менее 2 мм (песок диатомитовый).



**Рисунок 1.** Песок диатомитовый

*Примечание – сфотографировано автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

**Таблица 1.** Физико-механические свойства: песок диатомитовый

Наименование материала	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м×К	Коэффициент пластичности	Липкость, г/см <sup>2</sup>	Коэффициент чувствительности к сушке
Песок диатомитовый	410	0,098	5,88	8,8	0,173

*Примечание – составлено автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

Высокотемпературный обжиг песка диатомитового при температуре 1150 °С осуществлялся в электропечи сопротивления СНОЛ 50/1300 (рис. 2). Песок диатомитовый после обжига носит название песок термолитовый.



**Рисунок 2.** Обжиг диатомита в электропечи ЭКПС 50/1300

*Примечание – сфотографировано автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

В результате проведенных научных исследований были запроектированы составы теплопорита, термиза (табл. 2), термолитобетона (табл. 3) и газобетона (табл. 4):

**Таблица 2.** Состав теплопорита и термиза

Наименование бетонного изделия	Песок диатомитовый, кг	Цемент, кг	Вода, л
Теплопорит	900	350	90
Термиз	795	358	110

*Примечание – составлено автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

**Таблица 3.** Состав термолитобетона

Наименование бетонного изделия	Песок термолитовый, кг	Цемент, кг	Вода, л
Термолитобетон	900	350	80

*Примечание – составлено автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

**Таблица 4.** Состав газобетона

Наименование бетонного изделия	Песок диатомитовый, кг	Цемент, кг	Алюминиевая пудра, кг	Каустическая сода, кг	Сульфат натрия, кг	Вода, л
Газобетон	460	520	1,0	6,0	10	40

*Примечание – составлено автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

Для сохранения высокой пористости и повышения механической прочности неавтоклавных газобетонов необходима оптимизация состава (Н.И. Макридин & И.Н. Максимова, 2013). Качественное смешивание компонентов предлагаемого состава бетонных изделий производилось в лабораторной шаровой мельнице МШЛ-1.

Для получения растворной смеси в качестве затворителя использовалась вода с температурой 18-22 °С, положительно влияющая на скорость схватывания. В приготовлении растворной смеси использовали чашу и лопатку затворения. Изготовление лабораторных образцов кубов производилось с помощью форм куба 2 ФК-100.

Для ускорения твердения лабораторных бетонных образцов (теплопорит, термиз, термолитобетон) использовали пропарочную камеру КУП-1. В камере образцы подвергались воздействию горячего пара с температурой до 100 °С и влажностью до 100 %.

Технология получения газобетона отличается от технологии производства теплопорита, термиза и термолитобетона тем, что до смешивания воду, цемент, песок диатомитовый и химические добавки (каустическая сода и сульфат натрия) нагревают до 45-60 °С в электропечи СНОЛ 67/350 и засыпают в цилиндрический барабан шаровой мельницы МШЛ 1 без мелющих тел. Время перемешивания компонентов равно 5 минутам. Затем добавляется алюминиевая пудра с дополнительным временем перемешивания в течение 1 минуты.

Готовая смесь заливается в формы куба 2 ФК-100 (рис. 3) и помещается в электропечь СНОЛ 67/350 для предварительного прогрева в течение 1 часа, смесь затвердевает при температуре 35 °С.

После достижения конструкционной плотности газобетонного массива срезают верхнюю часть и извлекают из форм.

Полученные лабораторные образцы газобетона в виде куба с размерами ребра 100 мм помещают в электропечь СНОЛ 67/350 для окончательного твердения, где они набирают прочность в течение 6 часов при температуре 60 °С.

Через 28 суток, после окончательного набора прочности лабораторных образцов, выполненных в виде куба с размерами ребра равными 100 мм, исследовательская группа приступила к определению основных физико-механических свойств теплопорита, термиза, термолитобетона и газобетона.



**Рисунок 3.** Формование газобетона в форме куба 2 ФК – 100

*Примечание – сфотографировано автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

В производстве легких бетонов, таких как термиз, песок диатомитовый составляет ориентировочно 55 %, для производства теплопорита – около 70 % от массы состава бетонной смеси.

Термолитобетон изготавливался по технологии, аналогичной традиционной технологии производства бетонной смеси, где вместо строительного песка использовался песок термолитовый.

На начальном этапе проектирования состава и разработки технологии изготовления лабораторных образцов газобетона с использованием лабораторного оборудования в результате твердения наблюдалось появление трещин на поверхности образцов. Чтобы устранить причину возникновения трещин, были изучены научные труды ученых (Margarita Vladislavna, 2020), занимающихся данной проблемой при изготовлении газобетона.

Учитывая результаты исследования ученых в устранении образования трещин в газобетоне, был разработан технологический режим твердения газобетона под воздействием тепловой обработки с указанным выше температурным режимом и временем теплового воздействия.

В дальнейших исследованиях в лабораторных образцах газобетона трещин не наблюдалось (рис. 4).



**Рисунок 4.** Лабораторный образец газобетона

*Примечание – сфотографировано автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

Также следует отметить, что используемый в научных исследованиях перечень лабораторного оборудования, применяемый для изготовления теплопорита, термиза, термолитобетона и газобетона будет соответствовать наименованию основного промышленного оборудования технологической линии заводов-производителей строительных материалов данного вида строительной продукции (строительных изделий и конструкций из теплопорита, термиза, термолитобетона и газобетона), что облегчит выбор промышленного оборудования в перспективе для заводов, которые заинтересуются результатами наших исследований.

В таблице 5 представлены результаты исследований физико-механических свойств лабораторных образцов теплопорита, термиза, термолитобетона и газобетона.

**Таблица 5.** Физико-механические свойства теплопорита, термиза, термолитобетона и газобетона

Наименование бетонного изделия	Средняя плотность кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение % по массе	Марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Теплопроводность, Вт/м×К	Марка истираемости
Теплопорит	920	34,8	M25	B1,5	0,12	G3
Термиз	1045	28,4	M35	B2,5	0,18	G2
Термолитобетон	1370	16,4	M75	B5	0,192	G1
Газобетон	770	14,7	M25	B1,5	0,07	G3

*Примечание – составлено автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

По результатам проведенных исследований (табл. 5) физико-механических свойств теплопорита, термиза, термолитобетона и газобетона наибольшей прочностью M75 (B5), средней плотностью 1370 кг/м<sup>3</sup> и истираемостью G1 обладает термолитобетон, наибольшим водопоглощением 34,8 % – теплопорит, наименьшим коэффициентом теплопроводности 0,07 Вт/м×К – газобетон.

Для определения прочности лабораторных образцов теплопорита, термиза, термолитобетона и газобетона применяли пресс ПГМ-МГ4 (рис. 5)

В дальнейших исследованиях для улучшения физико-механических свойств бетонных изделий применяли модифицирующую добавку MasterCast 277. Такой вид добавки применяют при изготовлении бетонных изделий для повышения прочности, удобоукладываемости, водопоглощения, морозостойкости и снижения высолообразования на поверхности изделий.

Состав рабочей смеси для изготовления теплопорита состоит из песка диатомитового в количестве 67 мас. %, портландцемента в количестве 26 мас. %, пластификатора MasterCast 277 в количестве 0,005 мас. %, остальное – вода.

Модифицированную добавку в составе теплопорита использовали в количестве 2,0 % (7 кг) от массы цемента 350 кг. Водоцементное отношение (В/Ц) составляло 0,26.

Для определения физико-механических свойств модифицированного теплопорита были изготовлены лабораторные бетонные образцы – кубы с размером ребер 100 мм в количестве 24 штук.



**Рисунок 5.** Пресс ПГМ-МГ4 для определения прочности лабораторных бетонных образцов

*Примечание – сфотографировано автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

В таблице 6 представлены результаты исследований лабораторных образцов теплопорита по определению средней плотности, водопоглощения, прочности, теплопроводности и истираемости.

**Таблица 6.** Физико-механические свойства теплопорита

Наименование бетонного изделия	Средняя плотность $\text{кг/м}^3$	Водопоглощение % по массе	Марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Теплопроводность, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$	Марка истираемости
Теплопорит	920	34,8	M25	B1,5	0,12	G3
Теплопорит (модифицированный)	920	27,4	M35	B2,5	0,118	G2

*Примечание – составлено автором на основе данных (Таскалиев, 2025)*

В результате проведенных исследовательских работ модифицированного теплопорита (табл. 6) были определены следующие изменения физико-механических свойств: снижение водопоглощения с 34,8 до 27,4% (на 21,3%), повышение прочности с марки M25 (B1,5) до марки M35 (B2,5) и марки истираемости с G3 до G2. Исследованные свойства теплопорита подтверждают, что модифицированная добавка MasterCast 277 улучшает свойства теплопорита и пригодна для промышленного производства теплопорита.

По прочности на сжатие лабораторные образцы теплопорита, термиза, термолитобетона и газобетона согласно ГОСТу 57345 - 2016 «Бетоны ячеистые. Общие технические условия» и ГОСТу 25485 - 2019 «Бетоны ячеистые. Общие технические условия» относятся к конструкционно-теплоизоляционным бетонам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенной научно-исследовательской работе было подтверждено, что уникальные физико-механические свойства диатомита Актюбинского месторождения пригодны, согласно нормативным документам, для использования диатомита в качестве сырьевого материала в производстве современных энергосберегающих строительных материалов, обладающих хорошими теплоизоляционными свойствами и достаточной прочностью, соответствующих классу конструкционно-теплоизоляционных бетонов для строительства гражданских и производственных зданий.

Результаты проведенных экспериментальных научных исследований:

- спроектированы оптимальные составы теплопорита, термиза, газобетона и термолитобетона;
- определены физико-механические свойства теплопорита, термиза, газобетона и термолитобетона;
- определены физико-механические свойства теплопорита, модифицированного добавкой MasterCast 277.

Для определения показателей физико-механических свойств бетонных изделий с использованием модифицирующей добавки был выбран состав теплопорита с наиболее низкими результатами по сравнению со свойствами термиза и термолитобетона (табл. 5). В результате проведенных исследовательских работ с модифицированным теплопоритом были получены следующие улучшенные изменения физико-механических свойств теплопорита: снижение водопоглощения на 22,6 %, повышение прочности с марки M25 (B2) до марки M35 (B2,5) и марки истираемости с G3 до G2 (табл. 6).

Использование в составе теплопорита модифицирующей добавки MasterCast 277 позволило улучшить физико-механические свойства теплопорита, полученные результаты подтверждают пригодность добавки в промышленном производстве теплопорита. Эффективность добавки подтверждает целесообразность проведения исследований с составами термиза, термолитобетона и газобетона. Планируется проведение исследований со следующими добавками кроме MasterCast 277: 1. Пластификатор Ф 1; 2. Суперпластификатор С-3; 3. Реламикс; 4. Суперпластификатор «Штайнберг»; 5. Карбоксил ПК-2. Исследования будут проводиться с отдельными и с несколькими добавками в экспериментальном составе.

Целью будущих исследований являются разработка технологии производства строительной продукции на основе диатомита с использованием результатов проведенных исследований, отраженных в статье, отличающейся от существующих известных технологий производства, и адаптация разработанной технологии к промышленной, полупромышленное испытание разработанной технологии в заводских условиях с анализом и подбором оптимального технологического оборудования для производства строительных материалов и изделий, на основе диатомита.

Таким образом, полученные результаты научных исследований, представленные в этой статье, а именно разработанные современные энергосберегающие технологии производства теплопорита, термиза, газобетона и термолитобетона, позволят в будущем расширить рынок производства строительных материалов Республики Казахстан новыми современными теплоизоляционно-конструкционными, энергосберегающими материалами в виде бетонных изделий и конструкций для современного гражданского и промышленного строительства.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Научно-исследовательские работы профинансированы Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP 32726337).



**ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ОДОБРЕНИИ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМ ЭТИЧЕСКИМ КОМИТЕТОМ (IRB):** Не применимо.

**ЗАЯВЛЕНИЕ ОБ ИНФОРМИРОВАННОМ СОГЛАСИИ:** Не применимо.

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:** Данные, подтверждающие результаты данного технического исследования, могут быть предоставлены соответствующим автором по обоснованному запросу.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Авторы выражают благодарность коллегам за методологическую поддержку и полезные обсуждения, а также анонимным рецензентам за ценные замечания, способствовавшие улучшению качества статьи.

**УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА:** Авторы научных статей не использовали инструменты искусственного интеллекта (ИИ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 17177-94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные». (2001). // GOST 17177-94 "Materialy i izdeliya stroitel'nye teploizolyatsionnye" [Thermal insulation building materials and products]. (2001). (In Russ.)
- ГКЗ СССР (Ред.). (1984). Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям кремнистых пород (диатомит, спонголит, трепел, опока). // GKZ SSSR (Ed.). (1984). Instruktsiya po primeneniyu klassifikatsii zapasov k mestorozhdeniyam kremnistykh porod (diatomit, spongolit, trepel, opoka) [Instructions for applying the reserves classification to deposits of siliceous rocks: diatomite, spongolite, tripoli, opoka]. (In Russ.)
- ГОСТ 7076-99 «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». (1999). // GOST 7076-99 "Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo soprotivleniya pri statsionarnom teplovom rezhime" [Method for determining thermal conductivity and thermal resistance under steady-state thermal conditions]. (1999). (In Russ.)
- ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». (б. д.). // GOST 10180-2012 "Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nyum obraztsam" [Concretes. Methods for determining strength using control specimens]. (n.d.). (In Russ.)
- ГОСТ 12730.1-2020 «Бетоны. Методы определения плотности». (2021). // GOST 12730.1-2020 "Betony. Metody opredeleniya plotnosti" [Concretes. Methods for determining density]. (2021). (In Russ.)
- ГОСТ 12730.3-2020 «Бетоны. Метод определения водопоглощения». (2021). // GOST 12730.3-2020 "Betony. Metod opredeleniya vodopogloshcheniya" [Concretes. Method for determining water absorption]. (2021). (In Russ.)
- ГОСТ 13087-2018 «Бетоны. Методы определения истираемости». (2018). www.gost.ru // GOST 13087-2018 "Betony. Metody opredeleniya istiraemosti" [Concretes. Methods for determining abrasion resistance]. (2018). www.gost.ru (In Russ.)
- ГОСТ 18105-2018 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности». (2019). www.gost.ru // GOST 18105-2018 "Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti" [Concretes. Rules for strength control and assessment]. (2019). www.gost.ru (In Russ.)
- ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов». (2012). // GOST 23732-2011 "Voda dlya betonov i stroitel'nykh rastvorov" [Water for concretes and mortars]. (2012). (In Russ.)
- Дробильно-измельчительное оборудование. (б. д.). <https://mechanobr.nt-rt.ru/> // Drobil'no-izmel'chitel'noe oborudovanie [Crushing and grinding equipment]. (n.d.). <https://mechanobr.nt-rt.ru/> (In Russ.)

- Садаков, И. А. (2015). Применение диатомита в областях промышленности. Молодежь и наука, 2, 48. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23906425> // Sadakov, I. A. (2015). Primenenie diatomita v oblastiakh promyshlennosti [Application of diatomite in industrial fields]. Molodezh' i nauka [Youth and Science], 2, 48. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23906425> (In Russ.)
- Баранова, М. Н., Коренькова, С. Ф., & Чумаченко, Н. Г. (2011). История освоения кремнистых пород. Строительные материалы, 8, 4–7. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18053239> // Baranova, M. N., Koren'kova, S. F., & Chumachenko, N. G. (2011). Istoriya osvoeniya kremnistykh porod [History of the development of siliceous rocks]. Stroitel'nye materialy [Construction Materials], 8, 4–7. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18053239> (In Russ.)
- Макридин, Н. И., & Максимова, И. Н. (2013). Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны. // Makridin, N. I., & Maksimova, I. N. (2013). Iskusstvennye poristye zapolniteli i legkie betony [Artificial porous aggregates and lightweight concretes]. (In Russ.)
- Натрий сернокислый (сульфат натрия). (б. д.). Извлечено 12 октября 2025 г., из <https://industrial.kz/catalog/chemical-products/sodium-sulfate.html> // Natriy sernokislyy (sul'fat natriya) [Sodium sulfate]. (n.d.). Retrieved October 12, 2025, from <https://industrial.kz/catalog/chemical-products/sodium-sulfate.html> (In Russ.)
- GOST 30256-94 "Materials and construction. Products method of determining thermal conductivity by a cylindrical sensor". (1995).
- Портландцемент со шлаком ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н. (б. д.). Извлечено 12 октября 2025 г., из <https://www.akkermann.ru/product/portlandcement-so-shlakom-czem-ii-b-sh-425n-akkermann-500-maxi-2/> // Portlandtsement so shlakom TsEM II/A-Sh 42,5N [Portland cement with slag CEM II/A-S 42.5N]. (n.d.). Retrieved October 12, 2025, from <https://www.akkermann.ru/product/portlandcement-so-shlakom-czem-ii-b-sh-425n-akkermann-500-maxi-2/> (In Russ.)
- Пудра алюминиевая пигментная ПАП-1. (б. д.). Извлечено 12 октября 2025 г., из [https://oboronmet.ru/product/pudra\\_aluminiumevaya\\_pigmentnaya\\_pap-1\\_gost\\_5494\\_95.html](https://oboronmet.ru/product/pudra_aluminiumevaya_pigmentnaya_pap-1_gost_5494_95.html) // Pudra alyuminievaya pigmentnaya PAP-1 [Aluminum pigment powder PAP-1]. (n.d.). Retrieved October 12, 2025, from [https://oboronmet.ru/product/pudra\\_aluminiumevaya\\_pigmentnaya\\_pap-1\\_gost\\_5494\\_95.html](https://oboronmet.ru/product/pudra_aluminiumevaya_pigmentnaya_pap-1_gost_5494_95.html) (In Russ.)
- Стельмах, С.А., Щербань, Е.М., Халюшев, А.К., Холодняк, М.Г., Назхуев, М.П., & Галкин, Ю.В. (2017). Влияние технологических факторов на свойства неавтоклавного газобетона. Инженерный вестник Дона, 2. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tehnologicheskikh-faktorov-na-svoystva-neavtoklavnogo-gazobetona> // Stel'makh, S.A., Shcherban', E.M., Khalyushev, A.K., Kholodnyak, M.G., Nazhuyev, M.P., & Galkin, Yu.V. (2017). Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na svoystva neavtoklavnogo gazobetona [Influence of technological factors on the properties of non-autoclaved aerated concrete]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Journal of Don], 2. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tehnologicheskikh-faktorov-na-svoystva-neavtoklavnogo-gazobetona> (In Russ.)
- Barreto, E. P., & Bautista, J. J. S. (2024). Influence of calcined diatoms on the properties of conventional concrete. International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 15(2), 101–114. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2024.15.02.009>
- Cáceres, J. R., Rojas, J. P., & Sánchez, J. (2019). A review about the use of industrial by-products in the lightweight aggregates production of expanded clay. Journal of Physics: Conference Series, 1388(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1388/1/012011>
- Du, W. (2019). Study on preparation of ultra-high strength and high performance concrete from diatomite and its mechanical properties. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 376(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/376/1/012054>

- GOST 21216-2014 “Clay raw materials. Test methods”. (2015).
- Gupta, M. (2023). The effects of diatomite on cement mortar and concrete: A review. *Journal of Futuristic Sciences and Applications*, 6(1), 20–26. <https://doi.org/10.51976/jfsa.612303>
- Kumar, R., Srivastava, A., & Lakhani, R. (2022). Industrial wastes-cum-strength enhancing additives incorporated lightweight aggregate concrete (LWAC) for energy efficient building: A comprehensive review. *Sustainability*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/su14010331>
- Libra electronic Trading ACS. (б. д.).
- M, S., & Abbas, Z. K. (2022). The use of lightweight aggregate in concrete: A review. *Journal of Engineering*, 28(11), 1–13. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2022.11.01>
- Margarita Vladislavna, K. (2020). К вопросу о трещинообразовании в автоклавных газобетонах. *Университетская наука*, 2, 74–78. // Margarita Vladislavna, K. (2020). К вопросу о трещинообразовании в автоклавных газобетонах [On the issue of cracking in autoclaved aerated concretes]. *Universitetskaya nauka [University Science]*, 2, 74–78. (In Russ.)
- MasterCast® 727. (б. д.). [www.master-builders-solutions.basf.ru](http://www.master-builders-solutions.basf.ru)
- Parhizkar, T., Najimi, M., & Pourkhorshidi, A. R. (2012). Application of pumice aggregate in structural lightweight concrete. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 13(1). [www.SID.ir](http://www.SID.ir)
- Sharma, N., Sharma, P., & Verma, S. K. (2021). Influence of diatomite on the properties of mortar and concrete: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1116(1), 012174. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1116/1/012174>
- Technical Specifications Name of Specifications ITP-MG4 “ZOND”. (2025). <https://www.stroypribor.com/izmeritel-teploprovodnosti-itp-mg4-zond.html?template=52>
- Vijayan, D. S., Arvindan, S., Parthiban, D., Saravanan, B., & Kalpana, M. (2020). Natural aggregates used for lightweight concrete: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 993(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/993/1/012042>

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Тасқалиев Азамат Түлепқалиұлы** – техника ғылымдарының магистрі, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал қ., Қазақстан

**Тасқалиев Азамат Түлепқалиевич** – магистр технических наук, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Урал, Казахстан

**Tasskaliev Azamat Tulepkalievich** – Master of Technical Sciences, West Kazakhstan Innovative and Technological University, Uralsk, Kazakhstan

e-mail: [Taskalievazamat@mail.ru](mailto:Taskalievazamat@mail.ru).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1715-9102>



**Нариков Қанат Амангелдіұлы** – техника ғылымдарының кандидаты, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал қ., Қазақстан

**Нариков Канат Амангельдиевич** – кандидат технических наук, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Казахстан

**Narikov Kanat Amangeldievich** – Candidate of Technical Sciences, West Kazakhstan Innovation and Technological University, Uralsk, Kazakhstan

e-mail: knarik1969@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6459-140X>



**Шәкешев Бекболат Темержанұлы** – техника ғылымдарының кандидаты, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университетінің ректоры, Орал қ., Қазақстан

**Шакешев Бекбулат Темержанович** – кандидат технических наук, ректор Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета, г. Уральск, Казахстан

**Shakeshev Bekbulat Temerzhanovich** - Candidate of Technical Sciences, Rector of West Kazakhstan Innovation and Technological University, Uralsk, Kazakhstan

e-mail: bekshakeshev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7470-9221>



**Ідірісов Бексұлтан Лепесұлы** – техника ғылымдарының магистрі, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал қ., Қазақстан.

**Идрисов Бексултан Лепесович** – магистр технических наук, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Казахстан.

**Idirisov Beksultan Lepesuly** – Master of Technical Sciences, West Kazakhstan Innovative and Technological University, Uralsk, Kazakhstan.

e-mail: beksultan.idirisov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3586-7128>



**Жұмабаева Қамар Мұратқызы** – техника ғылымдарының магистрі, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал қ., Қазақстан.

**Джумабаева Камар Муратовна** – магистр технических наук, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Казахстан.

**Zhumabaeva Kamar Muratovna** – Master of Technical Sciences, West Kazakhstan Innovative and Technological University, Uralsk, Kazakhstan.

e-mail: Zhumabaeva12.02.88@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7633-4064>




[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_11](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_11)

XFTAP 67.07.29

## ҚАЗАҚСТАННЫҢ СӘУЛЕТТІК МҰРАСЫН КЕШЕНДІ САҚТАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ КӨЛЕМДІК КОМПОЗИЦИЯСЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

## КОМПЛЕКСНОЕ СОХРАНЕНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ КАЗАХСТАНА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ИХ ОБЪЕМНОЙ КОМПОЗИЦИИ

## COMPREHENSIVE PRESERVATION OF KAZAKHSTAN'S ARCHITECTURAL HERITAGE AND ENSURING THE SUSTAINABILITY OF ITS SPATIAL COMPOSITION

А.К. Токпаева <sup>1\*</sup>, Г.А.Карабаев <sup>1</sup>, А.М. Есенбаев <sup>1</sup>, Д.Г. Дюсенова <sup>2</sup>,  
А.С. Сайбулатова <sup>2</sup>

<sup>1</sup>С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Халықаралық білім беру корпорациясы (ХББК ҚазБСҚА), Алматы қ., Қазақстан

\*Жауапты автор: Токпаева Айгуль Курмангазыевна, E-mail: tokpaeva\_a@mail.ru

### Түйінді сөздер:

Тұрақтылық, мәдени  
мұра, сәулет  
ескерткіштері,  
қалпына келтіру,  
тарихи құндылық,  
ескерткіштерді жүйелі  
зерттеу.

### ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл мақалада заманауи экологиялық, технологиялық және әлеуметтік-мәдени сын-қатерлер жағдайында сәулет ескерткіштерінің кеңістіктік композициясының тұрақтылығы оларды ұзақ мерзімді сақтаудың негізгі шарты ретінде қарастырылады. Автор инженерлік, геологиялық, климаттық және цифрлық диагностикалық әдістерді пайдалана отырып, объектілерді жүйелі түрде зерттеуді қоса алғанда, қазақстандық мәдени мұраны сақтауға кешенді көзқарастың қажеттілігін негіздейді. Жұмыстың ғылыми жаңалығы – ескерткіштерді сақтаудың ажырамас көрсеткіші ретіндегі сәулеттік-кеңістіктік тұрақтылықтың рөлін нақтылауда, сонымен қатар құрылымдық тұрақтылық, бейімделу функционалды пайдалану және тарихи түпнұсқалықты сақтау арасындағы байланысты анықтауда. Зерттеу сәулет нысандарын тиімді сақтау дәстүрлі қалпына келтіру тәжірибесін заманауи мониторинг және цифрлық модельдеу технологияларымен үйлестіру арқылы, сондай-ақ ескерткіштерді мәдени құндылығын жоғалтпай, заманауи қалалық ортаға біріктіруді қамтамасыз ететін бейімделген пайдалану стратегияларын жүзеге асыру арқылы мүмкін болатынын көрсетті. Ұсынылған тәсілдер аймақтың сәулеттік мұрасын сақтаудың тұрақты стратегияларын әзірлеу үшін әдістемелік негіз бола алады.



---

**Ключевые слова:**

Устойчивость, культурное наследие, архитектурные памятники, реставрация, историческая ценность, системное обследование памятников.

**АННОТАЦИЯ**

наследия Казахстана, включающего системное обследование объектов с применением инженерных, геологических, климатических и цифровых методов диагностики.

Научная новизна работы заключается в уточнении роли архитектурно-пространственной устойчивости как интегрального показателя сохранности памятников, а также в выявлении взаимосвязи между конструктивной стабильностью, адаптивным функциональным использованием и сохранением исторической аутентичности.

В результате исследования показано, что эффективное сохранение архитектурных объектов возможно при сочетании традиционных реставрационных практик с современными технологиями мониторинга и цифрового моделирования, а также при внедрении адаптивных стратегий использования, обеспечивающих интеграцию памятников в современную городскую среду без утраты их культурной ценности.

Предложенные подходы могут служить методической основой для разработки устойчивых стратегий сохранения архитектурного наследия региона.

---

**keywords:**

Sustainability, cultural heritage, architectural monuments, restoration, historical value, comprehensive assessment of monuments.

**ABSTRACT**

The article examines the stability of the volumetric composition of architectural monuments as a key condition for their long-term preservation in the context of contemporary environmental, technological, and socio-cultural challenges. The author substantiates the need for a comprehensive approach to the preservation of Kazakhstan's cultural heritage, including a systematic survey of objects using engineering, geological, climatic and digital diagnostic methods.

The scientific novelty of the work lies in clarifying the role of architectural and spatial sustainability as an integral indicator of the preservation of monuments, as well as in identifying the relationship between structural stability, adaptive functional use and the preservation of historical authenticity.

The study shows that effective preservation of architectural objects is possible when traditional restoration practices are combined with modern monitoring and digital modelling technologies, as well as when adaptive use strategies are implemented to ensure the integration of monuments into the modern urban environment without losing their cultural value.

The proposed approaches can serve as a methodological basis for the development of sustainable strategies for the preservation of the region's architectural heritage.

---

**КІРІСПЕ**

Қазіргі әлем тарихи жады мен мәдени сабақтастықтың тасымалдаушысы ретінде сәулет өнерінің рөлін арттыратын өзгерістердің жедел қарқынымен сипатталады. Бұл тұрғыда инженерлік тұрғыдан ғана емес, сонымен қатар табиғи және жасанды арасындағы қатынас арқылы мәдени және философиялық тұрғыдан қарастырылатын архитектуралық тұрақтылық мәселесі ерекше өзекті болып табылады. Бұл зерттеудің мақсаты – сәулет нысандарының жасанды формалар санатынан мәдени ландшафттың «табиғи» элементтері мәртебесіне өту заңдылықтарын анықтау және олардың уақыт бойынша тұрақты болуына ықпал ететін факторларды анықтау. Осы мақсатқа жету үшін біз табиғи және жасанды



проблемаға теориялық көзқарастарды талдаймыз, сәулет тұрақтылығы бойынша қазіргі заманғы халықаралық және қазақстандық зерттеулерді қорытындылаймыз және сәулеттік ортаны өзгертуге түрткі болатын әлеуметтік-экономикалық және идеологиялық факторларды анықтаймыз. Зерттеу сәулет өнерінің тұрақтылығы оның құрылымдық күшімен ғана емес, сонымен қатар ғимараттың мәдени маңыздылығымен, оның қоғамдық жадқа енуімен және мұраны сақтаудың институционалдық шарттарымен анықталады деген гипотезаға негізделген. Соңғы жылдары ғылыми пікірталас тұрақты даму, модернистік мұраны сақтау және нарықтық экономиканың сәулет тәжірибесіне ықпалы жөніндегі жұмыстарды қамтумен кеңейтілді. Мәдениеттегі табиғи және жасанды проблеманы сонау 1970 жылдары О.И. Генисаретский, В.М. Розин, А.Г. Раппапорт және Г.П. Щедровицкий, ал тұрмыстық жағдайда тарихи-мәдени орындарды қорғаудың ғылыми-әдістемелік негіздері Д.Т.Тілеуғабуловтың (Тілеуғабулова,2008), А.Р. Мұхаметзянов пен тарихи-мәдени сараптама және ескерткіштердің жойылуының жүйелі алдын алу мәселелерін қарастыратын Тілекішев (Тілекішева,2024), Қазақстанның сәулет мұрасын жан-жақты сақтау мәселесін шешуге зор үлес қосты. Қалалық сәулет мұрасын зерттеу үшін Е.Малиновскаяның 20-ғасырдағы Алматыдағы сәулет нысандарын анықтау, бағалау және сақтау әдістеріне арналған еңбектері мен Ә.Оңғарұлының бірігіп өңдеген «Қазақстан Республикасының тарих және мәдениет ескерткіштерінің жинағы» маңызды маңызға ие (Оңғарұлы,2019). Сондай-ақ қазіргі ғылыми дискурста сандық технологиялар мен мұраны жан-жақты қорғау критерийлерін талдайтын Р.Мұхамедеевтің зерттеулері ерекше орын алады. Мәселенің тәжірибелік-бағдарлы аспектісі урбанист А. Әжиев пен А. Молдахметовтың еңбектерінде ашылған, олар қазіргі қала құрылысы контекстінде сәулеттік бірегейлікті сақтауды қарастырады (Әжиев, Молдахметова,2021). Орталық Азияның мәдени мұра нысандарының цифрлық құжаттамасын және менеджментін зерттейтін Тим Уильямс халықаралық академиялық салада маңызды рөл атқарады. Олардың зерттеулері бірігіп, қазақстандық сәулет мұрасын сақтауға кешенді көзқарастың пәнаралық негізін құрайды (Уильямс,2017). Бұл жұмыстың ғылыми жаңалығы оның сәулеттік тұрақтылықты жасанды форманың мәдени «натуралдануы» процесі ретінде қарастыруында және сәулеттік шешімдегі идеологиялық, экономикалық және кәсіби факторлар арасындағы байланысты анықтауда жатыр. Зерттеудің практикалық аспектісі сәулет ескерткіштерінің кеңістіктік тұрақтылығын қалпына келтіру және құрылымдық күшейту инженерлік әдістері арқылы сақтау қажеттілігіне қатысты.

### **ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ**

Бұл зерттеуде сәулет өнеріндегі тұрақтылық сәулеттік мұра объектілерінің көлемдік-кеңістіктік композицияда, сәндік элементтерде және шешімдерде көрсетілген философиялық, діни және көркемдік идеяларды көрсететін тән стильдік белгілерді сақтау және болашақ ұрпаққа жеткізу қабілеті ретінде қарастырылады.

Зерттеуде салыстырмалы-тарихи, типологиялық және визуалды-аналитикалық әдістер қолданылды. Салыстырмалы-тарихи әдіс әртүрлі тарихи кезеңдердегі сәулет нысандарының стильдік сипаттамаларының өзгерістерін анықтау үшін қолданылды. Типологиялық талдау сәулет элементтерін олардың пішініне, құрылысына, сәндік безендірілуіне қарай жүйелеуге мүмкіндік берді. Ғимараттардың көлемдік, кеңістіктік және көркемдік сипаттамаларының сақталуын бағалау үшін визуалды-аналитикалық әдіс қолданылды. Әдістер дәйекті түрде қолданылды: алдымен дереккөздер жинақталып, жүйеленді, содан кейін салыстырмалы талдау жүргізілді, соңында нәтижелер түсіндірілді.

Зерттеу объектілері мәдени мұраны білдіретін тарихи сәулет құрылымдары мен ансамбльдері, сонымен қатар тарихи орта контекстінде жасалған заманауи сәулет нысандары болды. Пайдаланылған бастапқы деректерге мұрағат материалдары, сәулет

тарихы бойынша ғылыми басылымдар, жобалау және реставрациялық құжаттамалар, ғимараттарды жер-жерде визуалды тексеру нәтижелері кірді. Дереккөздерді таңдау критерийлері олардың ғылыми сенімділігі, сәулеттік сипаттамалардың толық сипаттамасы, құрылыс, қайта құру және қалпына келтіру кезеңдері туралы тексерілген ақпараттың болуы болды.

Қазіргі заманғы мәдениетте табиғи орта мен тарихи сәулет тұрақты дамудың өзара байланысты элементтері ретінде қарастырылатыны анықталды. Бұрын сәулет мұрасын қорғау негізінен жекелеген ескерткіштерді немесе ансамбльдерді сақтауға негізделсе, индустриялық құрылыс пен стандарттау жағдайында тарихи дамудың әртүрлілігі мен даралығы ерекше мәнге ие болды. Сәулеттік тұрақтылық, бір жағынан, тарихи ерекшеліктерді сақтау және ғылыми негізделген қалпына келтіру, екіншіден, осы сипаттамаларды қазіргі заманғы сәулет тәжірибесіне біріктіру арқылы көрінеді.

Зерттеуде сәулеттік және тарихи талдаудың дәстүрлі әдістерін құрылымдық және материалдық жағдайды бағалау элементтерімен біріктіретін кешенді, пәнаралық тәсіл қолданылды. Жаңалық көркемдік, құрылымдық және технологиялық параметрлерді салыстыруды қоса алғанда, сәулеттік сипаттамалардың тұрақтылығын жүйелік талдауды қолдануда болды.

Материалдар мен технологияларды таңдау қалпына келтіру процестерінің тұрақтылығының негізгі факторы ретінде қарастырылды. Талдау кезінде материалдардың тарихи кезеңге қатыстылығы, олардың физикалық-техникалық қасиеттері, объектілердің сақталуына әсері ескерілді. Қазіргі заманғы реставрациялық технологиялар сәулет элементтерін тарихи құндылығын жоғалтпай нығайтуға және қалпына келтіруге мүмкіндік беретіні анықталды, бұл мәдени мұра нысандарын сақтау үшін ерекше маңызды.

## **НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ**

Қазіргі заманғы сәулет пен мәдени мұра көптеген қиындықтарға тап болады. Сәулет ескерткіштері климаттың өзгеруіне, температура мен ылғалдылықтың ауытқуына, қоршаған ортаның ластануына, сондай-ақ табиғи апаттарға ұшырайды. Оларды тиімді қорғау үшін осы факторларды үнемі бақылап отыру, артық ылғалдан қорғау және желдетуді жақсарту сияқты алдын алу шараларын енгізу қажет, бұл тарихи материалдардың бұзылуын бәсеңдетуге мүмкіндік береді.

Альберто Т. Эстевестің атап өткендей, өткен замандағы кедейлікке қарамастан, планета қазіргіге қарағанда қауіпсіз болды. Бүгінгі сәулеттік тәсіл тұрақтылықты толық қамтамасыз ете алмайды. Ол қоғам әлі қабылдауға дайын емес түбегейлі өзгерістерді талап етеді. Сәулет, мәңгілікке ұмтылатын «тастан жасалған заттарды» жасайтын өнер ретінде, жашпай тұтыну дәуірінде біртіндеп маңыздылығын жоғалтады. Заманауи дизайн нысандары қысқа мерзімді, оңай ауыстырылады және сабақтастығын жоғалтты.

Сәулеттегі кәсіби парадигманың өзгеруі бұқаралық сананың әсерімен және мәдени сұраныстың төмендігімен күрделенеді. Бұл тек жаңа ғимараттарды жобалауда ғана емес, тарихи мұраны кейде құндылық емес, ауыртпалық ретінде қабылдауда да көрініс табады.

BERLOGOS-тың қалалық тұрақтылық мәселелеріне арналған дөңгелек үстелінде қатысушылар мынадай қорытындыға келді: тұрақтылық – бұл тренд емес, ол бар сәулетті қалпына келтіру құралы болып табылады. Қазіргі әлемде ғасырлық тарихы бар көптеген ғимараттар дерлік қирап кеткен, олар қалпына келтірілуін күтуде. Ғимараттар әлемді өздігінен құтқара алмаса да, оларды шешімнің бір бөлігі ретінде қарастыру қажет, әсіресе қалаларға қатысты.

Қатысушылар сәулеттегі тұрақтылықты тек «жасыл сәулет», «экологиялық сәулет» немесе «энергияны үнемдейтін сәулет» деп қарау дұрыс емес екенін атап өтті.



Тұрақтылықтың мәні сәулеттегі ұрпақтар сабақтастығы мен есте сақтау факторларын да ескере отырып, сәулет өнерінің барлық аспектілерін қамтуда.

Дөңгелек үстел қатысушылары тұрақтылық – бұл сәулет өнерінің көркемдік құндылығы бар ғимараттар мен құрылыстарды сақтау және қорғау қажеттілігі деген қорытындыға келді. Бұл тұжырым бұрыннан белгілі және оған ешкім қарсы болмайды. Дегенмен, қазіргі жылдам өзгеріп жатқан әлемде тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін нені сақтау керек, нені сақтай алатынымызды және оны қалай сақтау керектігін нақты анықтау маңызды мәселе болып отыр (Boonstra, 2000).

Негізгі міндет – қандай нысандарды сақтау керектігін, оны жылдам өзгеріп жатқан әлем жағдайында қалай жүзеге асыруды және мұндай шаралардың тұрақты дамуға қаншалықты үлес қосатынын айқындау болып табылады. Мәселе тек сәулет ескерткіштерін қорғауда ғана емес, сонымен қатар заманауи технологияларды, мәдени мәндерді және ұзақ мерзімді көзқарасты ұштастыратын жаңа, кешенді стратегияларды әзірлеуде. Мысалы, шамадан тыс ылғалдан қорғау және желдетуді жақсарту тарихи материалдардың бұзылуын болдырмауға көмектеседі.

Қазіргі әлемде сәулет ескерткіштерін сақтау дәстүрлі қалпына келтіру әдістері мен озық технологияларды ұштастырған кешенді тәсілді қажет етеді. Лазерлік сканерлеу сияқты инновациялық құралдар ғимараттардың дәл үшөлшемді үлгілерін жасауға мүмкіндік береді, бұл нысандардың жағдайын зерттеу мен жоғалған бөлшектерді қалпына келтіру үдерісін айтарлықтай жетілдіреді. Мұндай тәсіл қалпына келтірудің нақтылығын арттырып қана қоймай, ескерткіштерді нығайту мен қайта құру кезінде тарихи шынайылықты сақтауға да мүмкіндік береді (Breheny, 1992).

Бұл барлық элементтер сәулет ескерткіштерін сақтаудың кешенді тәсілінің негізін құрайды. Ол дәстүрлі және инновациялық әдістерді біріктіре отырып, мәдени мұраның ұзақ мерзімділігі мен тұтастығын қамтамасыз етуге бағытталған.

Мұндай технологиялар мәдени мұраның ұзақ сақталуы мен тұтастығын қамтамасыз етуге бағытталған тұтас стратегияның бір бөлігіне айналуға алады. Алайда қазіргі сәулет тәжірибесі тағы бір маңызды міндетпен бетпе-бет келуде – тарихи ғимараттарды қоғамның өзекті қажеттіліктеріне бейімдеу мәселесімен.

Заманауи функцияларды тарихи сәулеттік ортамен үйлестіру нәзік әрі ойланып істелетін тәсілді талап етеді. Тарихи нысандар енді тек сақтау нысандарды ғана емес, сонымен қатар өзекті әлеуметтік міндеттерді шешудің құралына айналуға – қоғамдық кеңістіктер құрудан бастап, білім беру, мәдени немесе коммерциялық орталықтар ретінде қызмет етуге дейін.

Қазіргі әлемде мәдени мұраны қорғау ісінің дамуына байланысты ескерткіштерді қабылдаудың жаңа тәсілдері қалыптаса бастады. Енді олар тек сақтау нысандары ретінде ғана емес, қоғамның өзекті мәселелерін шешуге пайдалануға болатын элементтер ретінде де қарастырылады. Мұндай көзқарастың өзгеруі заманауи қажеттіліктер мен тарихи элементтерді үйлесімді түрде біріктіруге мүмкіндік беретін маңызды қадам болып табылады (Jenks, Burton & Williams, 1996).

Америкалық тәжірибелі сәулетші Ricardo Machado тарихи ғимараттарды қайта жаңғыртудың екі тәсілін ұсынған: формалды және функционалды.

Немқұрайлы қарау ғимараттың көрінісін және сәулеттік бейнесін сақтауды, тек аздаған өзгерістер енгізуді көздейді. Бұл тәсіл нысанның бірегейлігін сақтауға мүмкіндік береді және сонымен қатар оны қазіргі заман талаптарына сәйкестендіреді.

Функционалды тәсіл ғимараттың бастапқы қызметін қайта пайымдаумен байланысты. Бұл тәсіл құрылым мен ішкі кеңістікке айтарлықтай өзгерістер енгізуді талап етуі мүмкін, осылайша ескерткішті жаңа жағдайларға бейімдеуге мүмкіндік береді, бірақ оның бастапқы мақсатын міндетті түрде сақтамайды.

Қазіргі заманғы сәулетшілер тарихи құндылықты сақтау мен ғимараттарды жаңа функцияларда пайдалану мүмкіндігі арасынан тепе-теңдік табуға ұмтылады. Осылайша олар тарихи мұраның заманауи контексте алатын орнын айқындайды. Бұл мәдени және сәулеттік тұрғыдан терең сезімталдықты, сондай-ақ нысанның түпнұсқалығына нұқсан келтірмей заманауи технологияларды біріктіре алу қабілетін талап етеді. Негізгі міндет – заманауи технологиялар мен функционалдық талаптарды ғимараттың тарихи құрылымына оның бірегейлігі мен құндылығын бұзбай үйлесімді енгізу (Бондарь, 2006).

Ауқымды, тарихи ортаға айқын араласуды көздейтін жобаларға балама ретінде «әмбебап» деп аталатын тәсіл қалыптасты. Бұл тәсіл минималды өзгерістерге, қолданыстағы контекспен үйлесімге және ұстамды сәулеттік көркемдікке бағытталған. Оның аясында заманауи функцияларды орындай отырып, ғимараттың бірегейлігін және мәдени маңызын сақтауға басымдық беріледі.

Ғимараттың құрылымы мен пішіндеріне араласу барынша көзге түспейді, өзгерістер – ең аз деңгейде, ал қалпына келтіру – аса нәзік сипатта жүргізіледі. Мұндай тәсіл жоғары кәсіби шеберлікті, егжей-тегжейге мұқият назар аударуды және нысанның тарихи құрылымын терең түсінуді талап етеді.

Функционалдық бағыт – бұл ғимараттың қызметін өзгерту процесі, ол оның құрылымы мен ішкі кеңістігіне елеулі араласуды талап етуі мүмкін. Мұндай жағдайда ескерткіш жаңа мағынаға ие болып, оның мазмұны заманауи контекстке сай қайта пайымдалады.

Қазіргі заманғы түсіндіру барысында тарихи құндылықты сақтауды ұмытпау қажет. «Әмбебап» тәсіл аясында басты назар тарихи ғимараттың бірегейлігін сақтауымен қатар, оның заманауи функцияларды тиімді орындауына бағытталады. Бұл өзгерістердің барынша аз болуы және ғимараттың құрылымы мен пішініне араласудың көзге түспейтіндей деңгейде жүзеге асырылуы тиіс екенін білдіреді. Мұндай тәсіл тарихи тұтастықты бұзбай, сонымен бірге заманауи пайдалануға қажетті жайлылық пен функционалдылықты қамтамасыз ету үшін жоғары сезімталдық пен егжей-тегжейге мұқият көңіл бөлуді талап етеді.

Қазіргі заманғы қалпына келтіру тәжірибесінің маңызды аспектілерінің бірі – сәулетке жасалған араласудың көзге көрінбеуі болып табылады. Заманауи формалар мен элементтер – кіреберіс топтар, терезе ашықтары, материалдар – ғимараттың түпнұсқа құрылымымен визуалды біртұтастығын сақтайтындай етіп жаңартылады. Тарихи элементтермен үйлесетін жаңа материалдарды қолдану «көрінбейтін» араласу әсерін туғызады, мұнда жаңа нысан ескіге бәсекелестік жасамай, оны қолдап, толықтырады. Бұл ерекше сәулеттік шеберлікті және ғимараттың түпнұсқа тілін құрметтеуді талап етеді.

Жаңа технологиялық жетістіктерді, мысалы 3D-сканерлеу және цифрлық қалпына келтірудің басқа әдістерін интеграциялау қажет, бұл кейінгі зерттеулер мен қалпына келтірулер үшін дәл көшірмелер немесе модельдер жасауға мүмкіндік береді. Мәдени мұраны сақтауда көп нәрсе халықаралық ұйымдармен ынтымақтастыққа, тәжірибе алмасуға және заманауи технологияларды қолдануға байланысты (Кашкина, 2011).

Ғимараттарды физикалық әдістермен бейімдеумен қатар, эстетикалық және медиа-технологиялар – мұқият жарықтандыру, кеңейтілген шындық және мультимедиялық экскурсиялар сияқты тәсілдер жиі қолданылады. Бұл әдістер тарихи нысандарды олардың материалдық мәніне зиян келтірмей жаңа қырынан танып-білуге мүмкіндік береді. Олар мәдени мұраны, әсіресе жас ұрпақ үшін, қолжетімді және түсінікті етіп көрсетеді, сонымен қатар оның физикалық және тарихи тұтастығын бұзбай сақтайды.

Тарихи құрылыстармен жұмыс істеудің адаптивті тәсілдері 1931 жылғы Афина хартиясының қағидаларымен үйлеседі, онда ескерткіштердің құрылымына минималды

араласу қажеттігіне баса назар аударылады. Бұл қағида қазіргі қалпына келтіру тәжірибесінде көрініс табады: жаңа сәулеттік элементтер айқын көрінуі тиіс, бірақ басымдыққа ие болмауы керек. Ескі мен жаңаның үйлесімі мәдени мұраны тұрақты сақтау негізі болып табылады.

Шектеулі жағдайларда практикалық қолдану. Мұндай тәсіл әсіресе ғимараттың сыртқы көрінісін түбегейлі өзгертуге тыйым салатын қорғалатын міндеттемелер мен нормативтер болған кезде тиімді. Осындай жағдайларда «әмбебап» бағыт тарихи ғимараттарды минималды араласулармен жаңғыртуға мүмкіндік береді, олардың функционалдығын сақтай отырып, бұзылудан қорғайды. Бұл тәсіл қазіргі заманғы сәулетте сұранысқа ие болды, себебі ол мәдени мұраны сақтау қажеттілігін заманауи талаптармен үйлестіруге мүмкіндік береді, тарихи бірегейлікті бұзбай және ғимаратқа тым агрессивті өзгерістер енгізбей жүзеге асады (Бейсенова, 2010).

Осылайша, қазіргі заманғы сәулетшілер тек тарихи ескерткіштерді сақтау мен қалпына келтірумен шектелмей, оларды күнделікті өмірге енгізуге ұмтылады. Бұл ескерткіштердің қоғамның заманауи қажеттіліктеріне қызмет ете алуын қамтамасыз ету үшін визуалды және функционалды құрамдарды ескеру қажеттілігін тудырады, сонымен қатар олардың тарихи маңыздылығын жоғалтпауға мүмкіндік береді.

Сәулет мұрасымен жұмыс жасау әрқашан ескі мен жаңаның арасындағы қақтығысқа байланысты жүреді. Жаңа әдістер әлеуметтік және экономикалық шектеулерді жеңілдетуге мүмкіндік берсе де, шамадан тыс сәулеттік экспрессия («жұлдызды сәулет») мен жекешілік мәдени ресурсқа қайтымсыз зиян келтіруі мүмкін. Сонымен қатар, инновациялар тек физикалық қайта қалпына келтірумен шектелмей, тарихи нысанға қатынасымызды да өзгертеді — оны мәдени контексттің тірі бөлігі ретінде қарастыру тұрғысынан. Жаңа тәсілдер өздерін тек жаңа элементтерді салуда ғана емес, мұра нысанына заманауи көзқарасты қалыптастыруда да көрсетеді (Месенева, 2017).

Қазіргі заманғы сәулетшілер өткеннің ескерткіштерін символдық және мәдени мәнін жоғалтпай, белсенді қала ортасының бөлігіне айналдыруға ұмтылады. Бұл эстетикалық және функционалды талаптарды ескере отырып жүзеге асады. Сәтті интеграция ғимараттың тарихи түпнұсқалығын сақтай отырып, жаңа функцияларды бар құрылымдарға ұқыпты енгізу арқылы қол жеткізіледі. (сурет 1).



**1-сурет.** XVI–XVIII ғғ. мұра нысандарымен жұмыс істеудің тәжірибелік мысалдары: а – Диоклетиан термаларының қирандыларында орналасқан Санта-Мария-дельи-Анджели-дельи-Мартири базиликасы, Микеланджело, Дж. дель Дука және басқалар, (1561 ж. – XVIII ғ. ортасы); ә – Дж. Бернини авторлығындағы қоңырау мұнаралары бар Пантеон, (1640-шы жылдары тұрғызылған, 1883 ж. алынған). «Пантеон Римде», Литч суреті, У.Б. Кук гравюрасы, шамамен 1840 ж.; б – Колизейде шіркеу жобасы. К. Фонтана, (1725 ж.)  
*Ескерту – а) фото (NikonZ7II, Wikipedia, 2022); б) фото (Roberta Dragan, 2007); в) сурет Gianluca Riccio жұмысынан алынған (2020).*

Тарихи тұрғыдан алғанда, тарихи нысандарға араласудың келесі себептері ерекшеленеді:

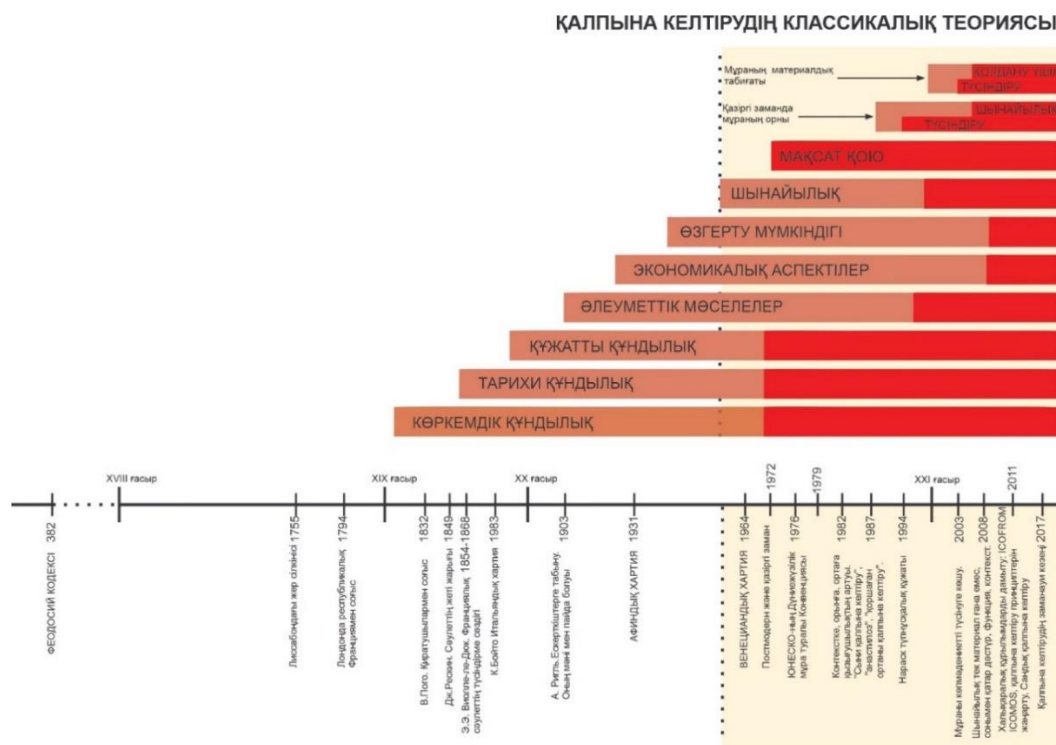
1. Жаңа құрылыс қымбат немесе физикалық тұрғыдан мүмкін емес болған жағдайлар;

2. Ғимарат белгі, көрнекті орын немесе қорғалатын ескерткіш болып табылатындықтан, оны бұзу мүмкін емес, бірақ қорғау нысанын сақтай отырып оның элементтерін өзгертуге болады;

3. Жерді пайдалану мүмкіндіктерінің таусылуы, нәтижесінде бар ғимарат құрылымын өзгерту қажеттігі туындайды.

Бұл себептер қайта құру тәжірибесіне тікелей әсер етті.

Қалпына келтіру теориясы пайда болғанға дейін бар ғимараттарды бейімдеудің екі тәсілі қолданылған, олар утилитарлық себептермен түсіндіріледі. Біріншісі – «қосу» тәсілі. Ол ежелгі дәуірден бастап қолданылып келеді және пайдаланушылардың қажеттіліктерінің өзгеруі немесе иесінің ауысуы сияқты жағдайларға байланысты болды. Бұл жағдайда қосымшалар сол өзгерістер енгізілген кезеңнің стилінде тұрғызылған. Екіншісі – «қайта құру» тәсілі, орта ғасырларда кең таралды. Оның пайда болуы экономикалық құлдыраумен байланысты болды. Модернизация ғимараттың қызметін өзгертуге, материалдар мен бөлшектерді қайта пайдалануға негізделген. Негізінен азаматтық ғимараттар мен базиликалар қайта құрылды, себебі олар бұрынғы культтерге қатысы жоқ және қаланың ең көрнекті орындарында орналасқан. (2-сурет).



**2-сурет.** Мәдени мұра нысандарының құндылықтарының хронологиялық өсуі  
Ескерту – ақпарат жинағына негізделген. Бұл қалпына келтіру теориясы мен практикасының дамуындағы тарихи кезеңдер мен маңызды күндерді қамтитын хронологиялық шкала. Жер сілкінісі, жаңа тәсілдердің пайда болуы, көрнекті ғимараттар сияқты нақты оқиғалар келтірілген. Кезеңдер 4-ғасырдан басталады (382-жыл), XVIII, XIX, XX ғасырлар және XXI дейін ғасырлардан өтеді (2017-жыл)

Көп жағдайда жаңа ғимараттар мен құрылыстар тарихи сәулетпен үйлесімділіктен гөрі әсерлі көрініс ретінде қарастырылады. Мұндай нысандардың негізгі мақсаты – әсерлі форма арқылы назар аударту, ал оның пайдалану мерзімі қазіргі заманда қысқара



берегіндіктен, коммерциялық табысты арттыру, бір тұрғыдан «тиімді трюктар» жасау болып табылады. Алайда, мұндай нысандар тарихи қалыптасқан сәулеттік ортаға зиян келтіріп, оны табиғи ретінде қабылдауға кедергі жасайды. Олар теңгерімсіздік туғызып, әрі қарайғы өзгерістерге себеп болып, қайтымсыз шығындарға және «уақыттар арасындағы байланыстың үзілуіне» әкеледі. Ал сәулеттегі тұрақтылық – дәл осы «уақыттар арасындағы байланыс».

### **ҚОРЫТЫНДЫ**

Зерттеу барысында сәулеттік мұраны сақтау тарихи-сәулеттік талдауды, заманауи реставрациялық технологияларды және құқықтық реттеу тетіктерін біріктіретін жүйелі көзқарасты талап ететін күрделі ғылыми-тәжірибелік міндет екені анықталды. Негізгі ғылыми қорытынды: сәулет ескерткіштерінің тұрақтылығы тек құрылымдардың физикалық тұтастығымен ғана емес, сонымен қатар олардың мәдени және тарихи болмысын қазіргі заманғы қалалық ортаға біріктіре отырып сақтай білуімен де анықталады.

Сәулет мұрасын тиімді қорғаудың негізгі факторларына мыналар жатады: қалпына келтірудің ғылыми негізделген критерийлерінің болуы, ғимараттардың жағдайын диагностикалаудың заманауи әдістерін қолдану, табиғи апаттарды, антропогендік әсерлерді және бақылаусыз урбанизацияны қоса алғанда, қауіп-қатерлерге жүйелі мониторинг жүргізу. Сандық технологияларды, атап айтқанда 3D сканерлеу мен цифрлық модельдеуді енгізу ескерткіштердің жай-күйін жазудың дәлдігін айтарлықтай жақсартып, оларды ғылыми зерттеу мен реставрациялау мүмкіндіктерін кеңейтетіні дәлелденді.

Мамандар мен зерттеушілерге арналған практикалық ұсыныстар төрт тармақты қамтиды: біріншіден, ескерткіштердің жағдайын үздіксіз бақылаудың кешенді бағдарламаларын жүзеге асыру қажеттілігі; екіншіден, жазу мен реставрацияны жобалаудың цифрлық технологияларын қолдануды кеңейту; үшіншіден, сәулетшілер, реставраторлар, инженерлер және цифрлық технология мамандары арасындағы пәнаралық ынтымақтастықты дамыту; төртіншіден, мәдени мұра объектілерінің сақталуын бақылаудың нормативтік-құқықтық базасы мен тетіктерін жетілдіру. Халықаралық ынтымақтастықты дамыту, ғылыми тәжірибе алмасу, алдыңғы қатарлы реставрация тәжірибесін Қазақстан жағдайына бейімдеу ерекше маңызға ие.

Кейінгі зерттеулердің перспективалы бағыттарына мыналар жатады: климаттың өзгеруі жағдайында сәулет ескерткіштерінің тұрақтылығын бағалау әдістерін әзірлеу, тарихи түпнұсқалығын жоғалтпай реставрацияда жаңа материалдарды пайдалану әлеуетін зерттеу, мәдени мұра объектілерін цифрлық мұрағаттау және виртуалды реконструкциялау технологияларын жетілдіру.

Осылайша, сәулет және қала құрылысы ескерткіштерін сақтау мәдени мұраның ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз ететін ғылыми негізделген, технологиялық жабдықталған және институционалды қамтамасыз етілген шаралар жүйесін қажет етеді.

**МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ:** Авторлар мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

**ҚАРЖЫЛАНДЫРУ:** Қаржыландыру көзі жоқ.

**ИНСТИТУЦИОНАЛДЫҚ ЭТИКА КОМИТЕТІНІҢ ҚОРЫТЫНДЫСЫ:** Қолданылмайды.

**ЕРІКТІ КЕЛІСІМ ТУРАЛЫ МӘЛІМДЕМЕ:** Қолданылмайды.

**ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛЖЕТІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ МӘЛІМДЕМЕ:** Осы техникалық зерттеудің нәтижелерін растайтын деректерді тиісті сұраныс бойынша жауапты автордан алуға болады.

**АЛҒЫС БІЛДІРУ:** Авторлар әдістемелік қолдау мен пайдалы пікірлері үшін әріптестеріне, сондай-ақ мақаланың сапасын арттыруға септігін тигізген анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

**ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА:** Берілген мақаланы жазу кезінде жасанды интеллект құралдары және оған байланысты технологиялар қолданылған жоқ.

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Abdelrahman, M., & Omar, O. (2020). Structural assessment and preservation strategies for historic masonry buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 45, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.02.004>
- Azhiev, A., & Moldakhmetova, A. (2021). Urban regeneration and preservation of historical environment in Kazakhstan cities. *Architecture and Urban Planning*, 17(1), 45–53.
- Бейсенова, Г. (2010). Национальная, культурная и цивилизационная идентичность: проблемные вопросы развития в Казахстане // Beisenova, G. (2010). *Natsional'naya, kul'turnaya i tsivilizatsionnaya identichnost': problemnye voprosy razvitiya v Kazakhstane* [National, cultural and civilizational identity: Problematic issues of development in Kazakhstan]. *Sayasat-Policy*, (3), 60. (In Russ.)
- Бондарь, В. В. (2006). Город Екатеринодар в пространстве и времени: опыты исторической урбанистики // Bondar', V. V. (2006). *Gorod Ekaterinodar v prostranstve i vremeni: opyty istoricheskoi urbanistiki* [The city of Ekaterinodar in space and time: Essays in historical urban studies]. *Innovatsionno-tehnologicheskii tsentr "Kuban'-Yug"*. (In Russ.)
- Бондаренко, И. П. (2017). Методологические подходы к сохранению объемно-пространственной структуры исторических зданий // Bondarenko, I. P. (2017). *Metodologicheskie podkhody k sokhraneniyu ob'emno-prostranstvennoi struktury istoricheskikh zdaniy* [Methodological approaches to preserving the spatial structure of historic buildings]. *Arkhitectura i sovremennost'*, (3), 13–20. (In Russ.)
- Boonstra, C. (2000). Sustainable housing: The Dutch experience. In B. Edwards & D. Turrent (Eds.), *Sustainable housing: Principles and practice* (pp. 66–71). Taylor & Francis.
- Breheny, M. (1992). The contradictions of the compact city: A review. In M. Breheny (Ed.), *Sustainable development and urban form* (pp. 138–159). Pion.
- Чепкунос, А. А. (2019). Технологии реставрации и обеспечение устойчивости конструкций памятников архитектуры // Chepkunov, A. A. (2019). *Tekhnologii restavratsii i obespechenie ustoichivosti konstruksii pamyatnikov arkhitektury* [Restoration technologies and ensuring the stability of architectural monument structures]. *Vestnik MGSU*, (2), 79–86. (In Russ.)
- Дёмин, М. А. (2014). Архитектурная идентичность и устойчивость городской формы // Demin, M. A. (2014). *Arkhiteturnaya identichnost' i ustoichivost' gorodskoi formy* [Architectural identity and sustainability of urban form]. *Gorodskie issledovaniya i praktiki*, (1), 55–63. (In Russ.)
- Feilden, B. M. (2003). *Conservation of historic buildings*. Architectural Press.
- Фролов, В. В. (2008). Сохранение историко-архитектурной среды в условиях современной застройки // Frolov, V. V. (2008). *Sokhranenie istoriko-arkhiteturnoi sredy v usloviyakh sovremennoi zastroiki* [Preservation of the historical and architectural environment in the context of modern development]. *Arkhitectura i stroitel'stvo Rossii*, (4), 22–27. (In Russ.)
- Институт археологии имени А. Оңғарұлы. (2019). Свод памятников истории и культуры Республики Казахстан // Institut arkheologii imeni A. Ongaruly. (2019). *Svod pamyatnikov istorii i kul'tury Respubliki Kazakhstan* [Compilation of monuments of history and culture

- of the Republic of Kazakhstan]. *Archeo.kz*. <https://archeo.kz/ru/library/svod-pamyatnikov-istorii-i-kultury/svod-pamyatnikov-istorii-i-kultury-respubliki-kaza/read/> (In Russ.)
- Jokilehto, J. (1999). *A history of architectural conservation*. Butterworth-Heinemann.
- Кашкина, Л. В. (2011). Монопрофильный город как социальная лаборатория // Kashkina, L. V. (2011). *Monoprofil'nyi gorod kak sotsial'naya laboratoriya* [Single-industry town as a social laboratory]. *Vestnik SAFU. Gumanitarnye i sotsial'nye nauki*, (5), 46–49. (In Russ.)
- Кириченко, Е. И. (2010). Архитектурная реставрация: история и теория // Kirichenko, E. I. (2010). *Arkhitekturnaya restavratsiya: istoriya i teoriya* [Architectural restoration: History and theory]. *Progress-Traditsiya*. (In Russ.)
- Mukhamadeyeva, R., Mukhamadeyeva, I., & Alkafafi, A. (2025). Preservation of cultural and historical heritage of Northern Kazakhstan using three-dimensional technologies. *Journal of Posthumanism*, 5(3), 1422–1443. <https://doi.org/10.63332/joph.v5i3.932>
- Riegl, A. (1996). *The modern cult of monuments: Its character and origin*. Getty Center Publications.
- Тлеугабдулов, Д. Т., Дукомбаев, А. Т., Брынза, Т. В. (2022). Сохранение сырцово-архитектуры Тенгиз-Коргалжынской впадины с использованием SD-технологий // Tleugabulov, D. T., Dukombayev, A. T., & Brynza, T. V. (2022). *Sokhraneniye syrtsovoy arkhitektury Tengiz-Korgalzhynskoy vpadiny s ispol'zovaniem SD-tekhnologiy* [Preservation of adobe architecture of the Tengiz-Korgalzhyn depression using SD technologies]. *Oriental Studies*, 15(5), 1094–1109. <https://doi.org/10.22162/2619-0990-2022-63-5-1094-1109> (In Russ.)
- Tleugabulov, D. T., Mukhametzyanov, A. R., Tlekishev, S. N., Rysbergenov, M. A., & Omarov, A. G. (2024). Сохранение культурного наследия: опыт проведения историко-культурной экспертизы в Алматинской области // Sokhraneniye kul'turnogo naslediya: opyt provedeniya istoriko-kul'turnoi ekspertizy v Almatinskoi oblasti [Preservation of cultural heritage: Experience of conducting historical and cultural expertise in the Almaty region]. *Археология Казахстана*, 26(4), 260–276. <https://doi.org/10.52967/akz2024.4.26.260.276> (In Russian)
- Williams, T. (2017). *The Silk Roads: An ICOMOS thematic study*. ICOMOS.
- Yilmaz, M., & Alptekin, A. (2018). The effect of different binders on the properties of dry-mix mortars. *Construction and Building Materials*, 165, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.005>

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Токпаева Айгуль Курмангазыевна** – техникалық ғылымдар магистрі, «Сәулет» білім беру бағдарламасы бойынша PhD докторанты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

**Токпаева Айгуль Курмангазыевна** – магистр технических наук, докторант PhD по образовательной программе «Архитектура», Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

**Tokpaeva Aigul** – master of technical sciences, PhD student in the educational program «Architecture», S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,

e-mail: tokpaeva\_a@mail.ru ,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5382-3886>



**Карбаев Гани Айтбаевич** – PhD докторы, қауымдастырылған профессордың м.а., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

**Карбаев Гани Айтбаевич** – PhD, и.о. ассоциированного профессора, Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

**Karabayev Gani** – PhD, Acting Associate Professor, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,  
e-mail: karabaew88@mail.ru ,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6418-2988>



**Есенбаев Аркен Маратович** – өнертану ғылымдарының магистрі, PhD докторы аға оқытушы, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан

**Есенбаев Аркен Маратович** – магистр искусствоведческих наук, старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан

**Yessenbayev Arken** – master of arts sciences, Senior lecturer, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,  
e-mail: yess.arken@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5822-2602>



**Дюсенова Дана Галымжанкызы** – техника ғылымдарының магистрі, «Сәулет» білім беру бағдарламасы бойынша PhD докторанты, Халықаралық білім беру корпорациясы (ХББК ҚазБСҚА), Алматы, Қазақстан.

**Дюсенова Дана Галымжановна** – магистр технических наук, докторант PhD по образовательной программе «Архитектура», Международная образовательная корпорация (МОК КазГАСА), Алматы, Казахстан.

**Dyussenova Dana** – Master of Technical Sciences, PhD student in the educational program «Architecture», International educational corporation ((IED KazHACA), Almaty, Kazakhstan.

e-mail: d.diusenova@kazgasa.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3415-5639>



**Сайбулатова Арай Самарқанқызы** – сәулет факультетінің қауымдастырылған профессоры, Халықаралық білім беру корпорациясы (ХББК ҚазБСҚА), Алматы, Қазақстан.

**Сайбулатова Арай Самаркановна** – ассоциированный профессор факультета архитектуры, Международная образовательная корпорация (МОК КазГАСА), Алматы, Казахстан.

**Saibulatova Aray** – Associate Professor at the Faculty of Architecture, International educational corporation (IED KazHACA), Almaty, Kazakhstan.

e-mail: a.saybulatova@mok.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7311-623X>



[https://doi.org/10.51885/3134-8041\\_IACS\\_2026\\_2\\_12](https://doi.org/10.51885/3134-8041_IACS_2026_2_12)

SRSTI 67.25.19

## CONTINUITY OF MILYUTIN'S PRINCIPLES IN MODERN URBAN PLANNING STANDARDS OF KAZAKHSTAN: ANALYSIS, ISSUES, AND REFORM PERSPECTIVES

## ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЗАМАНАУИ ҚАЛА ҚҰРЫЛЫСЫ НОРМАЛАРЫНДАҒЫ МИЛЮТИН ҚАҒИДАТТАРЫНЫҢ САБАҚТАСТЫҒЫ: ТАЛДАУ, МӘСЕЛЕЛЕР ЖӘНЕ РЕФОРМАЛАУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

## ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ ПРИНЦИПОВ МИЛЮТИНА В СОВРЕМЕННЫХ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМАХ КАЗАХСТАНА: АНАЛИЗ, ПРОБЛЕМАТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕФОРМ

Y.A. Feoktistova <sup>1</sup>, O.E. Gurskaya <sup>1</sup>, N.S. Kriulko <sup>1</sup>, S.T. Abdykarimova <sup>2</sup>,  
A.N. Barakbayev <sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of architecture, civil engineering and energy NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan technical university»

<sup>2</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup>S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

\*Corresponding author: Barakbayev Arslan, e-mail: Arslan\_barakbaev@mail.ru

### Keywords:

Urbanism, hybrid urban models, sustainable development, retrospective adaptation, and technological expansion.

### ABSTRACT

This article investigates the phenomenon of the persistence of N.A. Milyutin's urban planning principles, formulated in the "Sotsgorod" concept, within the modern regulatory framework of Kazakhstan. The relevance of the work is due to the critical contradiction between Astana's need for sustainable development and the preservation of outdated Soviet-era regulations. Based on a detailed comparative analysis of Soviet (SNiP 2.07.01-89) and current (SNiP RK 3.01-01As-2021) standards, the authors prove that the fundamental city structure the microdistrict, rigid functional zoning, and fixed service radii remains unchanged. It is established that modern adjustments are limited to tightening quantitative indicators, ignoring the qualitative transformation of the environment. This preserves problems of commuting, fragmentation of green spaces, and high car dependency. The conclusion justifies the need for a fundamental reform of the planning system: a transition from directive rationing to flexible parametric models that encourage mixed-use development and social diversity.



---

#### **Түйінді сөздер:**

урбанизм, гибриді қалалық модельдер, тұрақты даму, ретроспективті бейімделу, технологиялық экспансия.

#### **ТҮЙІНДЕМЕ**

Бұл мақалада «Соцгород» тұжырымдамасында тұжырымдалған Н.А. Милютиннің қала құрылысы қағидаттарының Қазақстанның қазіргі заманғы нормативтік базасында сақталу феномені зерттеледі. Жұмыстың өзектілігі Астананың тұрақты даму қажеттілігі мен кеңестік дәуірдегі ескірген регламенттердің сақталуы арасындағы сыни қайшылыққа байланысты. Кеңестік (СНиП 2.07.01-89) және қолданыстағы ҚР ҚН 3.01-01Ас-2021) нормаларға егжей-тегжейлі салыстырмалы талдау негізінде авторлар қаланың іргелі құрылымы – шағын аудан, қатаң функционалдық аймақтарға бөлу және қызмет көрсетудің бекітілген радиустары өзгеріссіз қалғанын дәлелдеді. Қазіргі заманғы түзетулер ортаның сапалы трансформациясын елемей, тек сандық көрсеткіштерді қатаңдатуға әкелетіні анықталды. Бұл маятниктік көші-қон, көгалдандырудың үзінділігі және жоғары көлікке тәуелділік мәселелерін сақтайды. Қорытындыда жоспарлау жүйесін түбегейлі реформалау қажеттілігі негізделген: директивті нормалаудан аумақтарды аралас пайдалануды және әлеуметтік аралуандылықты ынталандыратын икемді параметрлік модельдерге көшу.

---

#### **Ключевые слова:**

урбанизм, гибридные городские модели, устойчивое развитие, ретроспективная адаптация, технологическая экспансия.

#### **АННОТАЦИЯ**

В данной статье исследуется феномен устойчивости градостроительных принципов Н.А. Милютин, сформулированных в концепции «Соцгорода», внутри современной нормативной базы Казахстана. Актуальность работы обусловлена критическим противоречием между потребностью Астаны в устойчивом развитии и сохранением устаревших регламентов советской эпохи. На основе детального сравнительного анализа советских (СНиП 2.07.01-89) и действующих (СНиП РК 3.01-01Ас-2021) норм авторами доказано, что фундаментальная структура города – микрорайон, жесткое функциональное зонирование и фиксированные радиусы обслуживания – осталась неизменной. Установлено, что современные корректировки сводятся лишь к ужесточению количественных показателей, игнорируя качественную трансформацию среды. Это консервирует проблемы маятниковой миграции, фрагментарности озеленения и высокой автомобилезависимости. В заключении обоснована необходимость фундаментальной реформы системы планирования: переход от директивного нормирования к гибким параметрическим моделям, поощряющим смешанное использование территорий и социальное разнообразие.

---

## **INTRODUCTION**

The modern era is characterized by rapid changes in the urban environment: globalization, climate challenges, digital innovations, and social polarization are shaping new planning requirements (Gentile, 2018). Cities are becoming epicenters of economic and cultural processes, and sustainable development depends on the quality of their planning (Tuvikene et al., 2019). However, many post-Soviet cities, including the capital of Kazakhstan, Astana, are characterized by a surprising stability of regulatory approaches. Despite ambitious projects and modern architecture, the regulatory and legal framework is based on principles formulated in the mid-20th century (Nurlanova, 2022). This discrepancy creates a critical barrier to sustainable urban



development in post-Soviet nations, making the revision of these standards an urgent priority. This phenomenon requires serious reflection, as it reveals the mechanisms of historical continuity and its impact on modern practice (Stanilov, 2007).

The fundamental approaches of Soviet urban planning were laid down in the concept of the "Sotsgorod" (Socialist City), developed by architect and theorist N. A. Milyutin in the 1920s. He described the city as a single organism with a rigid functional structure: work, residential, and recreational zones are separated; infrastructure is subordinate to production processes; social services are evenly distributed; and green belts serve sanitary and recreational functions (Miliutin, 1974). These ideas had a profound influence on planning standards and were subsequently enshrined in Soviet building norms and rules (SN 41-58, SNIIP 2.07.01-89). Subsequently, after the collapse of the USSR, the updated SNIIPs of Kazakhstan inherited many of these provisions, leading to the preservation of a planning paradigm that emerged almost a century ago (Meuser & Zadorin, 2016; Zarecor, 2018).

The relevance of the study is due to the fact that planning approaches based on rigid regulations do not always meet the needs of modern cities. Changing social practices, new requirements for environmental sustainability, and the diversity of urban space pose tasks for the regulatory system that go beyond functional separation (Neugebauer & Rekhviashvili, 2015). In particular, the concept of the "15-minute city" (Moreno et al., 2021), Transit-Oriented Development (TOD), and green and blue infrastructure require a rethinking of regulatory guidelines, which, if based on Milyutin's principles, may hinder innovation.

While existing literature acknowledges the Soviet legacy in Central Asian urbanism, there is a lack of systematic comparative analysis linking specific planning principles of the 1930s 'Sotsgorod' directly to the quantitative indicators of the 2021 Building Codes of Kazakhstan.

This article aims to fill this gap by conducting a systematic comparative analysis of these regulatory documents. To achieve this, the study addresses the following research questions:

- (1) Which specific spatial and functional principles of N.A. Milyutin's 'Sotsgorod' have been retained in the modern SNIIPs of Kazakhstan?
- (2) How do these preserved regulatory parameters affect the current urban morphology and sustainability of Astana?
- (3) What specific regulatory changes are required to align Kazakhstan's planning standards with modern international practices?

The scientific novelty of this research lies in demonstrating the quantitative continuity of the 1930s standards in 21st-century regulations and developing evidence-based recommendations for the transition from normative regulation to parametric planning.

## LITERATURE REVIEW

N.A. Milyutin's book *Sotsgorod*, published in 1930, was an attempt to rethink the bourgeois city from the perspective of socialist ideology. Milyutin saw the city as a tool for educating the new man: a system organized according to the production principle ensures the efficient allocation of labor and daily life (Miliutin, 1974). His concept was based on several key provisions:

1. Functional Zoning and the Linear Principle. Unlike traditional European cities with a historical center, the "Sotsgorod" developed along transport lines. Industrial zones, residential

quarters, agricultural plots, and green belts were arranged in parallel strips. Such a structure implied equal access to different functions and simplified control over labor collectives.

2. The Microdistrict as a Structural Unit. Milyutin proposed organizing housing into blocks (microdistricts), each serviced by schools, kindergartens, shops, and cultural facilities located within walking distance (about 500 m). Microdistricts were to be connected by green avenues and pedestrian routes, while cars and transit transport were diverted to the periphery (Kravchunas, 2019).

3. Sanitary and Recreational Zones. The author emphasized the need for landscaping and creating sanitary gaps between industry and housing. He viewed green belts as an integral part of the urban structure, improving the microclimate and serving as a place for rest.

4. Social Equality. Planning should ensure equality in access to education, culture, and healthcare. To this end, Milyutin proposed distributing services evenly and prohibiting the high concentration of privileged functions in the center.

These ideas were born in the context of rapid industrial transformations and the collectivization of agriculture. Soviet ideology shaped the vision of the city as a space subordinate to the planned economy; therefore, planning decisions had to serve production tasks and the socialization of the population (Zarecor, 2018).

After the publication of Sotsgorod, Milyutin's ideas became the subject of debate. Although many were initially perceived as utopian, in subsequent decades, individual provisions received regulatory consolidation. SN 41-58 "Norms for Planning and Construction of Cities, Settlements, and Rural Populated Areas" introduced the official definition of a microdistrict, establishing that its population should not exceed 10–12 thousand people, and everyday service facilities should be located within 0.5 km of housing. The norms also prescribed a distance between arterial streets of 600–1000 m to ensure walking accessibility to transport stops.

SNiP 2.07.01-89 "Planning and Development of Urban and Rural Settlements" detailed these requirements. It defined a microdistrict as a territory of 10–60 hectares (up to 80 hectares in special cases), not divided by arterial streets, with a service radius of 500 m. The document also introduced requirements for the placement of entrances to microdistricts and intra-quarter driveways: the distance between them should not exceed 300 m, and 180 m during the reconstruction of historical areas. Additionally, the regulations included instructions on driveway widths, the placement of cul-de-sacs, parking standards, and population density, which continued the idea of rational distribution of functions.

Collectively, Soviet norms institutionalized Milyutin's principles: the microdistrict became a mandatory planning unit, distances to facilities became rigid indicators, and green zones became a normative quantity. These provisions were oriented toward creating a hierarchical city structure ensuring the management of transport, infrastructure, and life activity (Alexander, 2007).

After the collapse of the USSR, Kazakhstan formed its own regulatory framework, but it was built on the foundation of the Soviet legacy. SNiP RK 3.01-02-2016, dedicated to landscaping, established rules similar to Soviet ones: building height in parks should not exceed 8 m, built-up area 7% of the park area, distance between entrances no more than 500 m, and visitor parking located outside the park territory at a distance of no more than 400 m. These indicators practically repeat the norms of SN 41-58, supplementing them only with requirements for accessibility for people with limited mobility and aesthetics.



SNiP RK 3.01-01As-2021, the key document for the planning and development of Astana, establishes the microdistrict as a territory of 10–100 hectares. It requires that microdistricts be formed within the red lines of streets, and the share of non-residential objects should not exceed 25%. Walking accessibility to transport stops, shops, schools, and parks has been reduced to 200–400 m, but the logic of radii remains unchanged. The document also establishes a mandatory share of green spaces – 19 m<sup>2</sup> per resident – and a share of open spaces of at least 40%, which increases requirements for environmental sustainability.

These modern norms demonstrate a combination of quantitative tightening (reduction of distances, increase in green areas) with the preservation of the qualitative structure: the city is still viewed as a set of microdistricts connected by highways; functional zoning remains a basic principle; density and driveway dimensions are regulated in a form created in the mid-20th century.

## METHODOLOGY

**Selection of Sources.** The study is based on the analysis of four regulatory documents: SN 41-58, SNiP 2.07.01-89, SNiP RK 3.01-02-2016, and SNiP RK 3.01-01As-2021. These documents cover a period of over 60 years, allowing for the tracing of the evolution of regulatory requirements. The texts of the regulations were considered in their original edition, taking into account current amendments and additions. Additionally, materials from N. A. Milyutin's book were used to compare theoretical provisions with regulatory ones (Miliutin, 1974). For a deeper analysis, scientific studies dedicated to post-Soviet and contemporary urban development were used: the work of Alexander (2007) on rational planning and its implementation; research by Bissenova (2017) on the socio-cultural aspects of mobility and class; the study by Tleuken et al. (2021) on Astana's building sustainability; the work of Pakina and Batkalova (2017) on green zones in the post-socialist city; the historical analysis of the master plan by Vasiliev (2020); the recent analysis of Astana's infrastructure programs and urban sustainability by Tleuken et al. (2025); and the systematic review of post-Soviet planning paradigms in Central Asia by Junussova et al. (2024).

**Comparative Analysis Method.** The comparative analysis was structured into four sequential stages to ensure transparency and reproducibility of findings. Stage 1 – Identification of foundational principles. Drawing on Milyutin (1974), eight foundational principles of the «Sotsgorod» concept were extracted, organized into eight comparison parameter groups (Table 1 below): structural unit, functional zoning, service radii, street network, sanitary norms, green provision, development density, and parking standards. Stage 2 – Extraction of normative parameters. Through content analysis of each of the four documents (SN 41-58, SNiP 2.07.01-89, SNiP RK 3.01-02-2016, SNiP RK 3.01-01As-2021), specific clauses, tables, and numerical values corresponding to the eight parameter groups were systematically retrieved. Stage 3 – Classification of change type. For each parameter, one of three categories was recorded: (a) full continuity – the formulation and numerical value remain identical or differ within  $\pm 10\%$ ; (b) quantitative adjustment – the underlying concept is preserved, but the numerical value differs by more than 10%; (c) qualitative transformation – the very logic of regulation has changed (e.g., a shift from population density to floor area ratio). Stage 4 – Interpretation. The results were juxtaposed with empirical research on post-Soviet urban morphology (Alexander, 2007; Bissenova, 2017; Tleuken et al., 2021) and with contemporary international planning paradigms

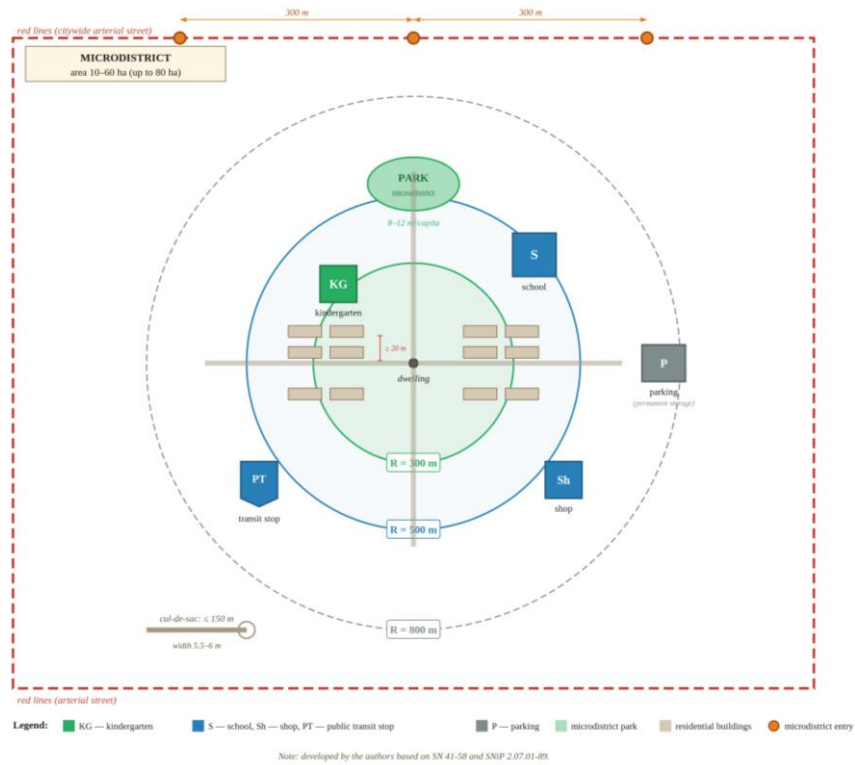
– the 15-minute city (Pozoukidou & Chatziyiannaki, 2024; Khavarian-Garmsir et al., 2024), Barcelona's superblocks (Frago, 2024; Amati et al., 2024), and Transit-Oriented Development (Dominguez-Gonzalez et al., 2024) – to assess the actual influence of inherited norms on the spatial morphology of Astana.

The classification thresholds ( $\pm 10\%$  for continuity vs. quantitative adjustment) were chosen to exclude minor editorial variations and capture only those changes reflecting deliberate revision of standards. Additionally, the interpretation of norms in the literature was analyzed: what actual effects these requirements have, how they are perceived by the professional community and the population (Fauve, 2015; Koch, 2010), and how they compare with recent reform debates in post-Soviet contexts (Junussova et al., 2024) and global discussions of building code reform (Zhang, 2022). The analytical framework also draws on critical perspectives on the 15-minute city concerning physical determinism and the limits of one-size-fits-all approaches (Khavarian-Garmsir et al., 2024).

**Study Limitations.** It is important to note that the results of the study are based on textual analysis of documents and do not account for the practical implementation of norms. Implementation may vary depending on economic capabilities, political decisions, cultural traditions, and social dynamics, as well as the institutional capacity of municipal governance (Zhumbekova & Mukanov, 2025). Furthermore, the focus on Astana does not cover the entire geography of Kazakhstan, although basic principles are applied in other cities as well, including Almaty and Qonayev (Aktymbayeva et al., 2025). Nevertheless, the conclusions have general significance for all post-Soviet cities experiencing the influence of the Soviet legacy (Stanilov, 2007), particularly in the Central Asian context where similar regulatory inheritance is observed (Junussova et al., 2024).

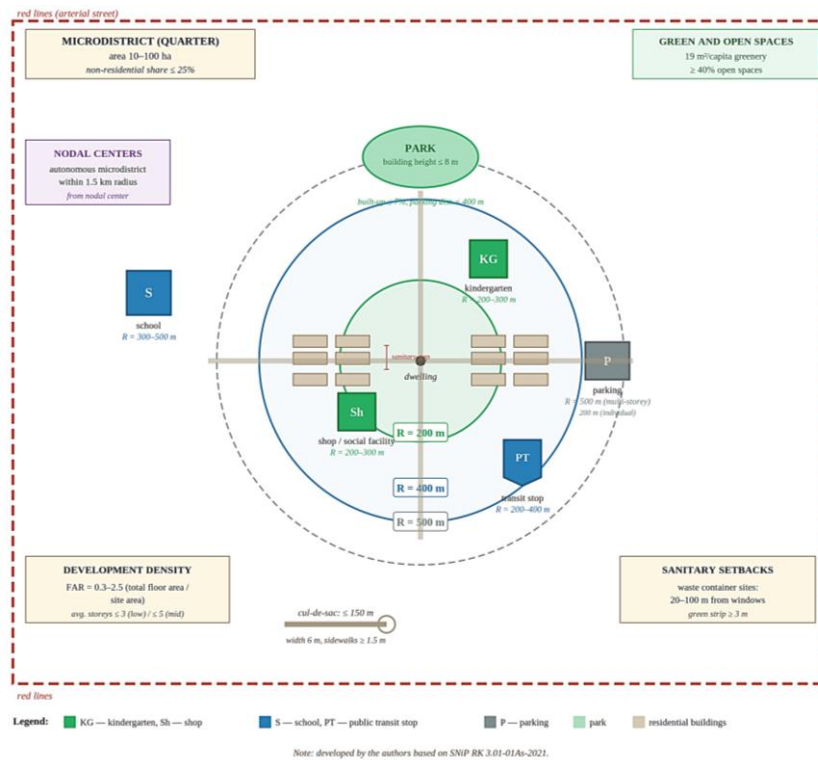
**Table 1.** Operational framework for the comparative analysis of regulatory documents

№	Parameter group	Specific indicators compared	Units of measurement
1	Structural unit of planning	Microdistrict area, population density	ha; persons/ha
2	Functional zoning	Share of non-residential objects, types of permitted use	%; categorical list
3	Service radii	Walking distance to public transit, schools, kindergartens, shops	m
4	Street network	Cul-de-sac length, carriageway width, distance between entries	m
5	Sanitary norms	Sanitary gaps between buildings, insolation, distance to waste container sites	m; hours
6	Green provision	Greenery per capita, share of open spaces	m <sup>2</sup> /capita; %
7	Development density	Floor area ratio (FAR), number of storeys, plot coverage	dimensionless; storeys; %
8	Parking standards	Distance to parking, share of garaged storage, parking spaces per dwelling	m; %
<i>Note – developed by the authors based on Milyutin (1974) and the four regulatory documents under analysis</i>			



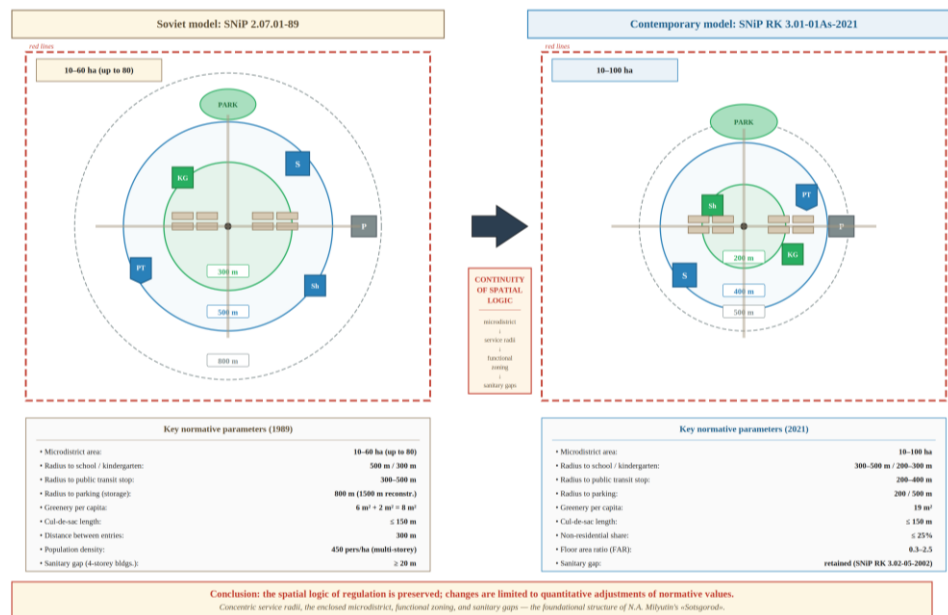
**Figure 1.** Normative microdistrict model under SNiP 2.07.01-89

Note – developed by the authors based on SN 41-58 and SNiP 2.07.01-89



**Figure 2.** Normative microdistrict model under SNiP RK 3.01-01As-2021 for the city of Astana

Note – developed by the authors based on SNiP RK 3.01-01As-2021



**Figure 3.** Comparison of normative models: continuity of spatial logic between SNiP 2.07.01-89 (1989) and SNiP RK 3.01-01As-2021 (2021)

*Note – developed by the authors based on comparative analysis of SNiP 2.07.01-89 and SNiP RK 3.01-01As-2021*

## RESULTS

Analysis of the regulations shows that the concept of the microdistrict remains the unchanging core of the planning structure. Initially, according to SN 41-58, a microdistrict was defined as a territory between arterial streets, free from public driveways. It provided for medium-rise residential buildings, a regular grid of intra-quarter driveways, and the mandatory placement of schools, childcare institutions, shops, and medical points. The service radius was 0.5 km — this value is repeatedly repeated in the regulations. The document also indicated that the microdistrict should have its own microdistrict park and sports grounds, and its boundaries are fixed by red lines and natural or planning constraints.

In SNiP 2.07.01-89, the microdistrict was consolidated as a structural element with an area of 10–60 hectares (up to 80 hectares under special conditions) with the same service logic. At the same time, the norm was supplemented by the concept of a "quarter," which allowed for the allocation of smaller units within the microdistrict. The text of the document emphasized that the microdistrict should not be intersected by arterial streets; its internal streets should ensure access to every house, and main entrances should be located at intervals of 300 m. Such an approach allowed for the preservation of a uniform structure and manageability (Kravchunas, 2019).

The modern SNiP RK 3.01-01As-2021 preserves the concept of the microdistrict, expanding the area range to 10–100 hectares. An important difference lies in the limit on the share of non-residential objects (25%) and the possibility of forming autonomous microdistricts within a radius of 1.5 km from nodal centers. However, there are no radical changes: as in Soviet regulations, the microdistrict remains the basic "brick" of the city. This indicates the deep rootedness of Milyutin's approach and the difficulty of moving away from it.

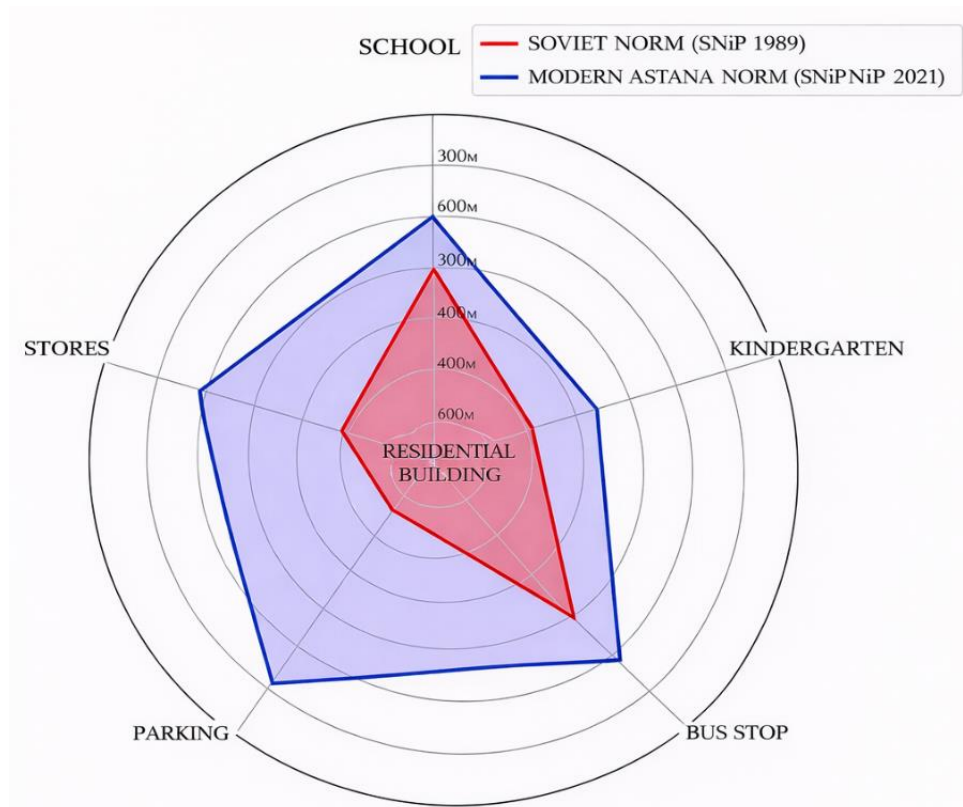
Soviet regulations paid special attention to the distance to public transport stops. SN 41-58 provided that the distance between thoroughfares with mass transport should be 600–1000 m so that residents could walk to a stop in 5–7 minutes. The provision took into account that for most

citizens, the main mode of travel was the tram or bus. The document also indicated that stopping points should be located near shops, pharmacies, clinics, and other important institutions, emphasizing an integrated approach to planning.

SNiP 2.07.01-89 detailed the requirements: maximum pedestrian accessibility to a stop - 500 m; in northern climatic zones - 300 m, in southern - 400 m; for central urban areas - 250 m. The document officially established intervals between stops for various types of transport (e.g., 400–600 m for buses) for the first time, allowing for more precise route planning. Additional norms concerned the distance from residential buildings to parking lots: no more than 800 m (1500 m in reconstructed areas) for permanent vehicle storage.

SNiP RK 3.01-01As-2021 significantly reduces distances: to public transport stops – 200–400 m; to shops and social facilities - 200–300 m; to parking lots - 200 m for individual development and 500 m for multi-story areas. These values reflect a modern understanding of comfort and improved quality of life. However, the system of radii itself, set as a mandatory rule, is preserved. This demonstrates that Milyutin's approach - the standardization of distances - remains the basis of planning logic.

The street network plays a key role in ensuring transport accessibility and organizing the internal space of the microdistrict. SN 41-58 prescribed that the length of cul-de-sacs (dead-end driveways) should not exceed 100 m, and the width - 8–10 m; at the end of the cul-de-sac, it is necessary to arrange a circular turning device with a radius of 10 m or a rectangular platform 12×12 m. This allowed fire equipment and maintenance services to turn around and also prevented excessive lengthening of driveways, which worsened access.



**Figure 4.** Morphological Comparison of Soviet Microdistrict Horizontal Space and Modern Astana Quarter Vertical Densification

*Note – compiled by the authors based on SNiP 2.07.01-89 and SNiP RK 3.01-01As-2021 data.*

SNiP 2.07.01-89 increased the maximum length of a cul-de-sac to 150 m and specified that in 5–9 story buildings, driveways with a width of 5.5 m are allowed with periodic widening to 6 m at a distance of 75 m for passing traffic. For single-row development, a carriageway width of 3.5 m was permitted. The document also prescribed locating entrances to the microdistrict at a distance of 300 m and ensuring exits to streets at no fewer than two points.

In the modern SNiP RK 3.01-01As-2021, these requirements are preserved: cul-de-sacs — no more than 150 m; carriageway width along facades — 6 m; sidewalks — at least 1.5 m; at the end of the cul-de-sac — a turning area for fire equipment. Thus, the standard continues the tradition of regulating the street network through rigid numerical restrictions.

### SANITARY GAPS AND INSOLATION

One of the important aspects of Milyutin's model was concern for insolation and sanitary gaps between buildings. SN 41-58 indicated that the distance between the long facades of buildings should be at least the height of two buildings, and during reconstruction — at least one height, but in any case, not less than 12 m. The norms also fixed minimum distances from windows to outbuildings and plot boundaries. This ensured natural lighting and ventilation, as well as prevented the accumulation of pollution (Tleuken et al., 2021).

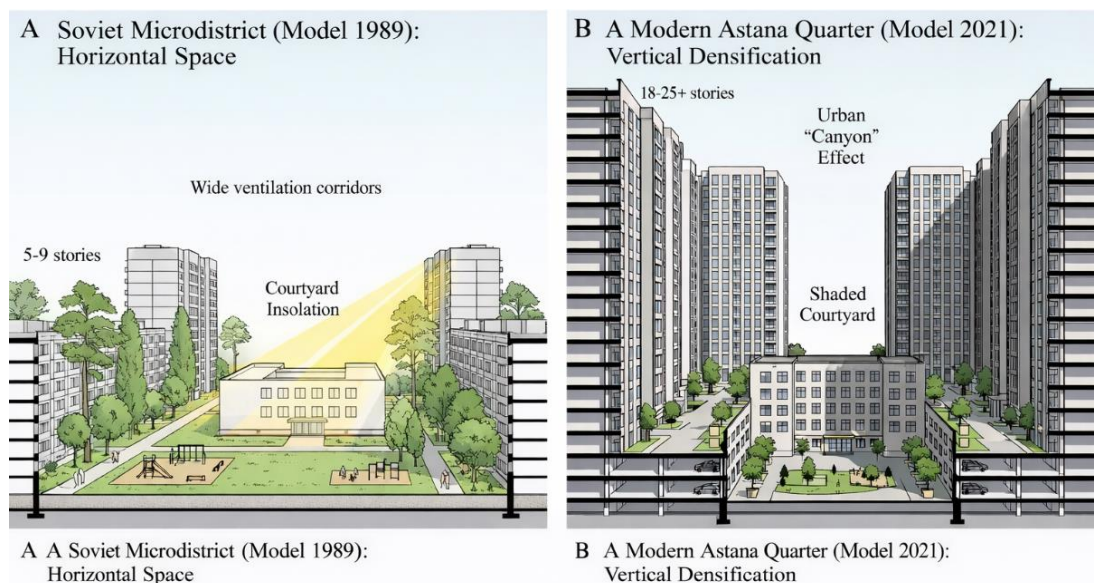
SNiP 2.07.01-89 in clause 2.12 preserved these requirements, establishing that distances between facades of 2–3 story residential buildings at least 15 m, and 4-story — at least 20 m; reduction is allowed while maintaining normative insolation. In addition, the document regulated the placement of waste container sites: at least 20 m from buildings of children's and educational institutions, no more than 100 m from entrances to residential buildings.

Modern norms of Kazakhstan refer to a separate document on insolation and lighting (SNiP RK 3.02-05-2002) and sanitary rules, but essentially preserve similar gaps. SNiP RK 3.01-01As-2021 establishes that container sites should be placed at a distance of 20–100 m from the windows of residential buildings and fenced with a green strip; the volume of the site should be 0.03 m<sup>2</sup> per person. The document also requires that green strips of at least 3 m separate utility areas from recreation zones. Thus, the foundations of sanitary gaps and insolation formulated by Milyutin continue to determine the requirements for the urban environment.

Green belts and parks occupied a special place in the "Sotsgorod". Milyutin viewed them as an element of population health improvement and part of the production process (workers rest after a shift in specially organized gardens). SN 41-58 consolidated the mandatory presence of green spaces in microdistricts: micro-yards, public gardens, and parks were to provide 8–12 m<sup>2</sup> of greenery per resident. In addition, the document required that parks and squares be located evenly throughout the city and connected by green corridors.

SNiP 2.07.01-89 reinforced this norm: green zones of common use must constitute at least 6 m<sup>2</sup> per person, and intra-quarter plantings — another 2 m<sup>2</sup>. The document classified green spaces into city, district, and microdistrict ones, defining the area of each and the radius of availability. For example, for a microdistrict garden — no more than 500 m, for a district park — 1 km. This preserved Milyutin's idea but refined the functional distribution.

The modern SNiP RK 3.01-01As-2021 introduces even higher standards: the total area of open spaces must be at least 40% of the territory; provision of green spaces — 19 m<sup>2</sup>/person; separate indicators are provided for park, district, and local green zones. Additionally, park infrastructure is regulated: building height no more than 8 m, built-up area — 7%, number of parking spaces — 7–10 per 100 visitors, distance to parking — no more than 400 m. These requirements reflect a desire to increase environmental sustainability but are based on the same regulatory paradigm — precise numerical norms (Pakina & Batkalova, 2017).



**Figure 5.** Comparative Spatial Analysis Soviet Microdistrict Model 1989 and Modern Astana Quarter Model 2021

*Note – developed by the authors*

Residential building density in Soviet norms was a tool for ensuring sanitation and safety. In SN 41-58, Table 32 established the maximum percentage of plot development and the minimum living space per hectare, depending on the number of stories. For example, for 2-story development, the percentage of development should not exceed 28%, and the minimum provision of living space — 2000 m<sup>2</sup>/ha; for 5-story — 24% and 4400 m<sup>2</sup>/ha; for 8-story — 20% and 5500 m<sup>2</sup>/ha. These indicators limited height and encouraged moderate density, providing spaces for green spaces and intra-quarter roads.

SNiP 2.07.01-89 shifted to regulating population numbers: a density of 450 people/ha for multi-story areas. At the same time, the norms preserved requirements for the area of green zones, recreation and sports grounds, and also took into account insolation and aerodynamics.

SNiP RK 3.01-01As-2021 regulates density through the building intensity coefficient: the ratio of the total area of the building to the plot area must be in the range of 0.3–2.5, depending on height. Additionally, the document establishes the average number of stories (volumetric-spatial index), which should not exceed 3 for low-rise development and 5 for medium-rise. Despite the transition to new metrics, the ideology remains the same: the standard dictates permissible density and height based on sanitary, climatic, and transport considerations. This continues Milyutin's tendency to regulate the city by setting clear quantitative limits.

Soviet norms paid attention to the placement of vehicles. SN 41-58 prescribed that parking areas should be located near institutions and shopping centers, and the distance from the parking lot to entrances should not exceed 200–300 m. The document also noted the need to isolate parking lots from residential buildings and playgrounds with green strips.

SNiP 2.07.01-89 introduced more detailed requirements for vehicle storage: at least 90% of the fleet must be located in garages and open parking lots within a radius of 800 m from homes (1500 m in reconstructed areas), and temporary parking lots must provide for at least 70% of cars with distribution by city zones. The norms determined the share of garages and open parking lots, taking into account the size of the city and population density.

The modern SNiP RK 3.01-01As-2021 reduces distances to parking: permanent storage — 200 m for individual development and 500 m for multi-story areas; guest parking lots must be

located 400 m from park entrances, with 7–10 cars parking per 100 visitors. These norms reflect the growth of motorization among the population and the desire to keep cars near the home, which simultaneously contradicts concepts of reducing the use of private cars.

Soviet regulatory documents detailed the parameters of service facilities: schools, kindergartens, shops, clinics, and houses of culture. For example, SN 41-58 and SNiP 2.07.01-89 contained tables defining the necessary areas and capacity of institutions, as well as their service radii. Schools, as a rule, were located at a distance of no more than 500 m; kindergartens – 300 m; shops – 400 m. For sanitary and household enterprises, sanitary gaps and landscaping requirements were indicated. Modern norms of the RK reproduce these indicators, sometimes shortening distances (to 200–300 m) but preserving the model of "basic" and "periodic" services.

It is noteworthy that in modern SNiPs, as in Soviet ones, there are no requirements for the diversity of services, cultural spaces, or community centers; the main emphasis is on functional provision. This reflects Milyutin's interpretation of the city as a production machine where leisure and culture play a secondary role.

**Table 2.** Comparative Analysis of Urban Planning Parameters Soviet Norms SNiP 2.07.01 89 and Modern Kazakhstan Standards SNiP RK 3.01 01As 2021

Parameter	Soviet Norms (SNiP 2.07.01-89)	Modern Kazakhstan Norms (SNiP RK 3.01-01As-2021)	Trend
1	2	3	4
Microdistrict Area	10–60 ha (up to 80 ha)	10–100 ha	Expansion of scale, retaining the microdistrict structure
Walking Distance to Public Transport	500 m (general); 300–400 m (climate-dependent)	200–400 m	Slight tightening of accessibility requirements
Service Radius (Schools /Kindergartens)	500 m / 300 m	300–500 m	Preservation of rigid service radii
Green Space per Capita	6 m <sup>2</sup> (residential district) + 2 m <sup>2</sup> (microdistrict)	19 m <sup>2</sup> (general citywide target)	Quantitative increase without requirements for spatial connectivity
Parking Distance	800 m (storage garages); 1500 m (reconstruction areas)	200 m (individual parking); 500 m (multi-storey parking)	Significant reduction of distance, strengthening pro-car orientation
Street Network within Microdistricts	No thoroughfares through microdistricts	No thoroughfares; entrances every 300 m	Preservation of the enclosed microdistrict concept
<i>Note – compiled by the authors based on comparative analysis of SNiP 2.07.01-89 and SNiP RK 3.01-01As-2021.</i>			



## DISCUSSION

Comparative analysis shows that most of Milyutin's key principles have not only survived but continue to define planning practice in Kazakhstan. The reasons for this phenomenon can be divided into institutional, cultural, and practical.

Institutional factors are related to the procedure for developing norms. Legislative bodies and design institutes often rely on existing documents as a basis for updates. Developing new norms requires significant resources and expertise; using proven standards seems safe and acceptable. In post-Soviet states, institutional memory includes not only documents but also professional personnel: many experts are graduates of Soviet universities accustomed to a certain methodology. This creates a persistent tradition that is difficult to change (Alexander, 2007; Vasiliev, 2020).

Cultural reasons include the perception of the city as an ordered, "rational" space. Soviet ideology taught that a correct city is a city with a clear layout, free from chaotic development. Zoning is perceived as a guarantor of order and sanitary safety. Even ordinary citizens often consider the microdistrict a convenient form because it ensures proximity to schools and shops. Therefore, proposals for mixed and high density are viewed with caution or rejection (Bissenova, 2017).

Practical factors lie in the fact that rigid norms provide clear guidelines for designers. When a standard prescribes the exact width of a street or the number of places in a kindergarten per 1000 residents, it is easier for an architect to draw up a project and get approval. Flexible criteria characteristic of modern international approaches requires more complex calculations, deep context analysis, and public participation. In conditions of limited resources and a desire for rapid construction, "old" norms turn out to be more convenient (Nurlanova, 2022).

The preservation of Milyutin's norms creates a number of environmental and social problems. Firstly, functional zoning promotes the separation of residential, working, and recreational functions, which increases the need for daily commuting. Even with a reduced radius to stops, citizens are forced to travel to visit work, shopping centers, and other facilities, as services are concentrated in separate zones. This increases car dependence and greenhouse gas emissions (Tleuken et al., 2021).

Secondly, landscaping standards are oriented primarily toward quantitative indicators rather than quality. As a result, large but unconnected green areas may appear, which function poorly as an ecological network. Research by Pakina and Batkalova (2017) showed that the green zones of Almaty are fragmented, and their function is limited to recreation; there is no unified system capable of improving biodiversity and ensuring climate adaptation.

Thirdly, density norms and sanitary gaps lead to relatively low building density, especially in areas of individual and low-rise buildings. This hinders the development of public transport and increases infrastructure costs. On the other hand, attempts to maximize land use often run counter to regulatory requirements, which gives rise to illegal infill development or chaotic "inserts."

In international practice, there is a trend toward a transition from rigid planning regulations to flexible approaches based on principles of sustainability and comfort. The "15-minute city" concept implies that all basic functions (work, education, shopping, recreation) should be accessible within a 15-minute walk or bike ride (Moreno et al., 2021). This is not a fixed value but a guideline that adapts to the context. The approach emphasizes the importance of mixed use, diversity of development, street quality, and resident participation in design. In such a model, there are no rigid microdistrict boundaries; the city is viewed as a network of local centers connected to each other.

Transit-Oriented Development (TOD) also offers an alternative: dense development near transport hubs allows for reduced dependence on private cars, increased efficiency of public transport, and the creation of lively, diverse districts. TOD involves a combination of commercial, residential, and public functions in a relatively small area, which contrasts with Milyutin's functional separation.

Examples of reforms from foreign cities demonstrate how it is possible to change regulatory approaches. Paris is actively implementing the 15-minute concept, reducing car traffic zones and encouraging the emergence of micro-districts with rich functions. Barcelona is developing "superblocks" where the carriageway is limited, and the internal space is given to pedestrians. Melbourne and Vancouver are introducing norms for minimum green space area depending on density but allow for flexible regulation of density and use.

The findings of the analysis allow us to suggest several directions for reforming Kazakhstan's urban planning norms to make them more relevant to modern challenges:

**Review of Zoning and Incentivizing Mixed-Use Development.** It is necessary to abandon the rigid separation of functions and encourage the creation of districts where housing, work, and services coexist. This will reduce the need for daily trips and increase the liveliness of streets.

**Flexible Service Radii.** Instead of a single distance to objects, ranges should be introduced that take into account density, type of development, and climate. For example, in dense areas, the radius to stops may be smaller, and in low-rise areas — larger.

**Qualitative Criteria Instead of Quantitative.** Instead of fixed meters and squares, offer descriptive standards: accessibility for all population groups, aesthetic quality of public spaces, street safety, opportunities for social interaction.

**Integration of Natural and Cultural Landscapes.** Green infrastructure should become a coherent framework of the city: parks, squares, boulevards, embankments, and water bodies should form a network. Norms should prescribe the connectivity of green zones, not just their area (Pakina & Batkalova, 2017).

**Flexibility in Density Regulation.** A transition is required from rigid percentage norms to indicators that take into account the context: the ability to increase density near transport hubs and reduce it in sensitive zones, with the mandatory provision of green and public spaces.

**Involvement of the Public and Experts.** Procedures for approving planning decisions should include public hearings, expert discussions, and pilot projects. This will allow adapting norms to the needs of residents and taking into account professional innovations.

Implementation of these recommendations will bring Kazakhstan's urban planning closer to modern international standards and make it more flexible, sustainable, and human-oriented.

#### Comparative Analysis Based on Examples of Central Asian Cities

Understanding regulatory inertia and ways to overcome it requires considering the experience of other cities in the region. Research on the transformation of urban morphology in Almaty and Tashkent has shown that both cities have large areas of sparsely built-up districts, low medium-rise density, and fragmented green zones (Alexander, 2007; Bissenova, 2017). These features are a legacy of the Soviet planning scheme of microdistricts and sanitary zones; they lead to increased transport demand and the formation of "sleeping" districts. Unlike Astana, where construction is proceeding much faster, Almaty and Tashkent demonstrate how the combination of regulations and natural conditions (relief, climate) forms unique constraints on development. Comparative analysis shows that changes in the regulatory framework must take into account local characteristics: historical development, topography, and climatic context.

Another example is the cities of Fergana and Osh, which have been implementing projects to densify and modernize housing development in recent years. The emphasis is on mixed use



and the development of pedestrian corridors, which goes against previous norms but is supported by local authorities due to economic and social benefits. These practices demonstrate that a gradual transition from Soviet zoning to more flexible formulas is possible with political will and local community initiatives.

### **THE ROLE OF RECREATIONAL ZONES: KAZAKHSTAN'S EXPERIENCE**

In the continental climate of Kazakhstan, recreational zones play a key role in creating a comfortable environment. Astana, as a capital city, possesses unique objects such as the Presidential Park, Nurzhol Boulevard, and the "Astana – Green Belt." Nevertheless, the distribution of green spaces remains uneven: central districts have a more developed park system, while peripheral dormitory microdistricts experience a shortage of recreational areas. Studies indicate that large-scale infrastructure programs often lead to intensive land development, reducing the area of green territories and creating a burden on ecosystems (Tleuken et al., 2021).

The experience of Kazakhstan's national parks (for example, Burabay Park) demonstrates the potential of regional recreation programs that can be integrated into urban infrastructure. Creating green corridors connecting the city with suburban natural zones can improve access to recreation and stimulate ecotourism. The development of a comprehensive program for the development of recreational territories, taking into account both urban norms and regional characteristics, should become a priority for state planning.

#### **Political and Institutional Aspects of Reform**

Reconfiguring urban planning norms requires strong political will and coordination between government bodies, business, and civil society. In Kazakhstan, regulatory documents are developed by ministries and approved at the government level, which ensures unity but hinders rapid updates (Fauve, 2015).

Involving local communities and public organizations in the planning process can increase the legitimacy of decisions and ensure they meet the needs of the population. Global experience shows that participatory planning promotes the emergence of innovative solutions and increases project sustainability (Al-Hhagla, 2010). For Kazakhstan, it is important to create feedback and monitoring mechanisms that will allow norms to be adapted as experience is gained and public preferences change.

### **CONCLUSION**

Summarizing the analysis conducted, it can be stated that modern urban planning standards in Kazakhstan largely inherit the principles formulated by N. A. Milyutin. The microdistrict as a structural unit, functional zoning, rigid pedestrian accessibility radii, norms for sanitary gaps and landscaping – all this constitutes the "foundation" of the planning approach. Modern SNiPs only clarify quantitative indicators, introduce additional environmental requirements, and adapt norms to new conditions, but do not change the basic logic.

Such continuity has both pluses and minuses. On the one hand, it ensures continuity of management, predictability for designers, and stability of planning practice. On the other hand, it hinders the introduction of innovations, prevents the formation of mixed and compact districts, and insufficiently takes into account social and environmental aspects of quality of life (Gentile, 2018). In conditions of modern challenges – climatic, economic, social – the city needs flexible, adaptive, and human-oriented norms.

The development of a new regulatory framework requires rethinking historical principles and their functions. It is necessary to view the city as a complex system where space, ecology,

economy, and community are interconnected (Sýkora & Bouzarovski, 2012). Instead of rigid regulations, guidelines should be used that stimulate a creative approach and orient toward quality. Only in this way can Astana and other Kazakhstani cities become laboratories for new urban solutions corresponding to the 21st century.

**CONFLICT OF INTEREST:** The authors declare no conflict of interest.

**FUNDING:** This research received no external funding.

**INSTITUTIONAL REVIEW BOARD STATEMENT:** Not applicable.

**INFORMED CONSENT STATEMENT:** Not applicable.

**DATA AVAILABILITY STATEMENT:** The data supporting the findings of this technical study are available from the corresponding author upon reasonable request.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** The authors express their gratitude to colleagues for methodological support and helpful discussions, as well as to anonymous reviewers for valuable comments that helped improve the quality of the article.

**STATEMENT ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES:** The Authors declare that in preparing this manuscript, a tool of generative artificial intelligence "Grammarly" was used to smooth out the wording, increase the stylistic coherence of the text and check the grammatical correctness of the article. Responsibility for the accuracy, completeness and compliance with the scientific standards of all the material presented lies entirely with the authors.

## REFERENCES

- Aktymbayeva, A., Tleubayeva, A., & Mukatova, R. (2025). An evaluation for sustainable urban planning of Qonayev City in Kazakhstan through residents' perception. *Discover Sustainability*, 6, Article 02148. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-02148-y>
- Alexander, C. (2007). Soviet and post-Soviet planning in Almaty, Kazakhstan. *Planning Perspectives*, 22(2), 183–214. <https://doi.org/10.1080/02665430701213498>
- Al-Hhagla, K. (2010). Sustainable urban development in historical areas using the tourist trail approach: A case study of the Cultural Heritage and Urban Development (CHUD) project in Lebanon. *Cities*, 27(6), 450–462. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2010.02.001>
- Amati, M., Stevens, Q., & Rueda, S. (2024). Taking play seriously in urban design: The evolution of Barcelona's superblocks. *Space and Culture*, 27(2), 159229. <https://doi.org/10.1177/12063312231159229>
- Bissenova, A. (2017). The Fortress and the Frontier: Mobility, Culture, and Class in Almaty and Astana. *Europe-Asia Studies*, 69(4), 642–667. <https://doi.org/10.1080/09668136.2017.1325492>
- Dominguez-Gonzalez, K., He, H., & Bona, N. (2024). Planning for transit-oriented development in emerging cities. *World Bank Group*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099092724143020433>
- Fauve, A. (2015). Global Astana: Nation building as a modernization project. *Central Asian Survey*, 34(1), 110–128. <https://doi.org/10.1080/02634937.2015.1010376>
- Frago, L. (2024). Urban planning paradoxes and sociospatial fragmentation: The Superblock Barcelona case (2016–2023). *International Journal of Urban and Regional Research*, 48(5), 13273. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.13273>
- Gentile, M. (2018). Three metals and the "post-socialist" city: Reclaiming the periphery. *International Journal of Urban and Regional Research*, 42(6), 1140–1151. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12658>



- Junussova, M., Soltybayeva, S., & Khan, R. (2024). Central Asian cities: Challenges in balancing global, national, and local development needs. *Cities*, 145, 104669. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104669>
- Khavarian-Garmsir, A. R., Sharifi, A., & Hajian Hossein Abadi, M. (2024). Time to challenge the 15-minute city: Seven pitfalls for sustainability, equity, livability, and spatial analysis. *Cities*, 153, 105234. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105234>
- Koch, N. (2010). The monumental and the miniature: Imagining 'modernity' in Astana. *Social & Cultural Geography*, 11(8), 769–787. <https://doi.org/10.1080/14649365.2010.523839>
- Kravchunas, V. (2019). The Microdistrict as a Place of Residential Satisfaction in Post-Soviet Cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471, 112048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/11/112048>
- Kurokawa, K. (2001). *Astana: The New Capital of Kazakhstan*. Kisho Kurokawa Architect & Associates.
- Laszczkowski, M. (2016). 'City of the Future': Built Space, Modernity and Urban Change in Astana. Berghahn Books. <https://doi.org/10.2307/j.ctt14jxtjt>
- Meuser, P., & Zadorin, D. (2016). *Towards a Typology of Soviet Mass Housing: Prefabrication in the USSR 1955–1991*. DOM publishers.
- Miliutin, N. A. (1974). *Sotsgorod: The Problem of Building Socialist Cities*. MIT Press.
- Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., & Pratlong, F. (2021). Introducing the "15-Minute City": Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities. *Smart Cities*, 4(1), 93–111. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010006>
- Neugebauer, C. S., & Rekhviashvili, L. (2015). Loss and (re-)construction of public space in post-Soviet cities. *International Planning Studies*, 20(3), 269–290. <https://doi.org/10.1080/13563475.2015.1051566>
- Nurlanova, N. K. (2022). The Main Factors and Trends of Urbanization in Kazakhstan: Analysis and Recommendations. *Economy: Strategy and Practice*, 17(1), 35–48. <https://doi.org/10.51176/1997-9967-2022-1-35-48>
- Pakina, A., & Batkalova, A. (2017). The green space as a driver of sustainability in Post-Socialist urban areas: the case of Almaty City. *Belgeo*, (2-3). <https://doi.org/10.4000/belgeo.19972>
- Pozoukidou, G., & Chatziyiannaki, Z. (2024). Critical debates on the 15-minute city: A systematic content analysis of the literature. *Cities*, 154, 105435. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105435>
- Stanilov, K. (Ed.). (2007). *The Post-Socialist City: Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6053-3>
- Sýkora, L., & Bouzarovski, S. (2012). Multiple transformations: Conceptualising the post-communist urban transition. *Urban Studies*, 49(1), 43–60. <https://doi.org/10.1177/0042098011401954>
- Tleuken, A., Tokbolat, S., Guney, M., Turkyilmaz, A., & Karaca, F. (2021). Assessment of the Indoor Environmental Quality in Sustainable Buildings of Astana. *Sustainability*, 13(4), 1762. <https://doi.org/10.3390/su13041762>
- Tleuken, A., Tokazhanov, G., Jemal, K. M., Shaimakhanov, R., Sovetbek, M., & Karaca, F. (2025). Kazakhstan's infrastructure programs and urban sustainability analysis of Astana. *Urban Science*, 9(4), 100. <https://doi.org/10.3390/urbansci9040100>
- Tuvikene, T., Sgibnev, W., & Neugebauer, C. S. (Eds.). (2019). *Post-Socialist Urban Infrastructures*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351190350>
- Vasiliev, A. (2020). Whose master plan? Kisho Kurokawa and 'capital planning' in post-Soviet Astana, 1995–2000. *Planning Perspectives*, 35(3), 505–523. <https://doi.org/10.1080/02665433.2019.1633948>

- Zarecor, K. E. (2018). What was so socialist about the socialist city? Second world urbanity in Europe. *Journal of Urban History*, 44(1), 95–117. <https://doi.org/10.1177/0096144217710229>
- Zhumabekova, M., & Mukanov, B. (2025). Smart governance and investment in green infrastructure: Analysis of financial mechanisms for sustainable urban development. *Journal of Applied Economic Sciences*, 20(3), 561–572. [https://doi.org/10.57017/jaes.v20.3\(89\).12](https://doi.org/10.57017/jaes.v20.3(89).12)

**Авторлар туралы мәліметтер**  
**Информация об авторах**  
**Information about authors**



**Феоктистова Елена Александровна** – сәулет өнерінің кандидаты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

**Феоктистова Елена Александровна** – кандидат архитектуры, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Feoktistova Yelena Alexandrovna** – candidate of Architecture, D.Serikbaev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

e-mail: EFeoktistova@ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2226-6515>



**Гурская Оксана Евгеньевна** – өнер магистрі, «Сәулет» білім беру бағдарламасының жетекшісі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

**Гурская Оксана Евгеньевна** – магистр искусствоведческих наук, руководитель образовательной программы «Архитектура», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Gurskaya Oksana Evgenyevna** – Master of Arts, Head of the educational program "Architecture", D.Serikbaev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

e-mail: ogurskaya@edu.ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7037-8979>



**Криулько Нина Сергеевна** – оқытушы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

**Криулько Нина Сергеевна** – преподаватель, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

**Kriulko Nina Sergeevna** – Lecturer, D.Serikbaev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

e-mail: nina.kriulko@edu.ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7285-9947>



**Абдыкаримова Шолпан Түлешевна** – архитектура ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қаласы, Қазақстан.

**Абдыкаримова Шолпан Түлешевна** – кандидат архитектуры, Евразийский Национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан переводи на казахский и на английский эту информацию по авторам

**Abdykarimova Sholpan Tulesheva** – Candidate of Architecture, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9299-1523>

e-mail: sh.abdykarimova@kazatu.edu.kz



**Баракбаев Арслан Нұрланұлы** – қала құрылысы және аумақтық жоспарлау магистрі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің докторанты, Астана қ., Қазақстан.

**Баракбаев Арслан Нурланович** – магистр градостроительства и территориального планирования, докторант Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, г. Астана, Казахстан.

**Barakbayev Arslan Nurlanovich** – Master's degree in Urban and Territorial Planning, PhD doctoral candidate at S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1229-0332>

e-mail: Arslan\_barakbaev@mail.ru

## М А З М Ұ Н Ы

<i>Абдрасилов Л., Кудайбергенов Н.Б., Тлеуленова Г.Т., Фазылов К.Р., Шахмов Ж.А.</i> Темірбетондағы арматураның коррозиялық деградациясы: бағалау, болжау, талдау және қорғау	5
<i>Әбу Ә.З., Бесимбаев Е.Т., Жамбакина З.М.</i> Plaxis 2D бағдарламасын қолдана отырып жағалау тіреу құрылымдарының тұрақтылығын талдау	21
<i>Бровко И.С., Аубакирова Ф.Х., Дүйсенбеков Б.К., Досалиев К.С.</i> Оңтүстік Қазақстанның аймақтық жағдайларындағы ғимарат негіздері деформацияларының типтік жағдайларын бақылау нәтижелері және жіберілген қателіктерді талдау	34
<i>Брянцев А.А., Төлебай С.М., Остапенко И.И., Буханцева А.Е.</i> Бетон мен болаттың жылуфизикалық қасиеттерінің болаттемірбетон конструкцияларының жұмысына әсері	48
<i>Брянцев А.А., Болат Д., Остапенко И.И., Дюсенова Д.Г., Буханцева А.Е.</i> Икемді бірінші қабаты бар монолитті айқас қабырғалы ғимараттардағы көтергіш қабырғалардың жоспардағы орналасуын параметрлік зерттеу	68
<i>Жұмаділова З., Орынбеков Е., Жүгінісов М., Төлегенова А., Жағифаров А., Нурлыбаев Р.</i> Керамикалық материалдарда потенциалды қолдануға арналған саз және минералды қоспалардың микроқұрылымдық және элементтік сипаттамалары	85
<i>Махиев Б.Е., Хатин А.В., Таланов В.В., Kulisz M., Каменских Л.В.</i> BIM мамандарын дайындау: оқу-өндіріс орталықтарының рөлі	96
<i>Оразалы Е.Е., Токанов Д.Т., Мухамеджанова А.Т.</i> Қарағанды қаласындағы тұрғын үй ғимараты іргетасының деформацияларына су алудың әсерін бағалау	108
<i>Садвакас Ж.М., Корнилова А.А., Есенбаев А.М., Дюсенова Д.Г., Гурская О.Е.</i> Туристік-рекреациялық орталықтардың кеңістік жүйелер ретіндегі ұйымдастырудың иерархиялық құрылымы (Солтүстік Қазақстан мысалында)	121
<i>Таскалиев А.Т., Нариков К.А., Шакешев Б.Т., Идрисов Б.Л., Джумабаева К.М.</i> Диатомит негізіндегі жеңіл бетондар	139
<i>Токпаева А.К., Карабаев Г.А., Есенбаев А.М., Дюсенова Д.Г., Сайбулатова А.С.</i> Қазақстанның сәулеттік мұрасын кешенді сақтау және олардың көлемдік композициясының тұрақтылығын қамтамасыз ету	154
<i>Феоктистова Е.А., Гурская О.Е., Криулько Н.С., Абдыкаримова Ш.Т., Барақбаев А.Н.</i> Қазақстанның заманауи қала құрылысы нормаларындағы Милютин қағидастарының сабақтастығы: талдау, мәселелер және реформалау перспективалары	166

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абдрасилов Л., Кудайбергенов Н.Б., Тлеуленова Г.Т., Фазылов К.Р., Шахмов Ж.А.</i> Коррозионная деградация арматуры в железобетоне: оценка, прогнозирование, анализ и защита	5
<i>Әбу Ә.З., Бесимбаев Е.Т., Жамбакина З.М.</i> Анализ устойчивости береговых подпорных конструкций с использованием Plaxis 2D	21
<i>Бровко И.С., Аубакирова Ф.Х., Дүйсенбеков Б.К., Досалиев К.С.</i> Результаты наблюдений за характерными случаями деформаций оснований зданий и анализ допущенных ошибок в региональных условиях юга Казахстана	34
<i>Брянцев А.А., Толебай С.М., Остапенко И.И., Буханцева А.Е.</i> Влияние теплофизических свойств бетона и стали на поведение сталежелезобетонных конструкций	48
<i>Брянцев А.А., Болат Д., Остапенко И.И., Дюсенова Д.Г., Буханцева А.Е.</i> Параметрическое исследование плановой расстановки несущих стен в монолитных перекрёстно-стеновых зданиях с гибким первым этажом	68
<i>Жумадилова З., Орынбеков Е., Жугинисов М., Толегенова А., Жағифаров А., Нурлыбаев Р.</i> Микроструктурные и элементные особенности глины и минеральных добавок для потенциального использования керамических материалах	85
<i>Махиев Б.Е., Хапип А.В., Талапов В.В., Kulisz M., Каменских Л.В.</i> Подготовка специалистов по BIM: роль учебно-производственных центров	96
<i>Оразалы Е.Е., Токанов Д.Т., Мухамеджанова А.Т.</i> Оценка влияния подтопления на деформации фундаментов жилого здания в Караганде	108
<i>Садвакас Ж.М., Корнилова А.А., Есенбаев А.М., Дюсенова Д.Г., Гурская О.Е.</i> Иерархическая структура организации туристско-рекреационных центров как пространственных систем (на примере Северного Казахстана)	121
<i>Таскалиев А.Т., Нариков К.А., Шакешев Б.Т., Идрисов Б.Л., Джумабаева К.М.</i> Легкие бетоны на основе диатомита	139
<i>Токпаева А.К., Карабаев Г.А., Есенбаев А.М., Дюсенова Д.Г., Сайбулатова А.С.</i> Комплексное сохранение архитектурного наследия Казахстана и обеспечение устойчивости их объемной композиции	154
<i>Феоктистова Е.А., Гурская О.Е., Криулько Н.С., Абдыкаримова Ш.Т., Баракбаев А.Н.</i> Преемственность принципов Милютина в современных градостроительных нормах Казахстана: анализ, проблематика и перспективы реформ	166

## CONTENT

<i>Abdrasilov L., Kudaibergenov N.B., Tleulenova G.T., Fazylov K.R., Shakhmov Zh.A.</i> Corrosion-induced degradation of reinforcing bars in reinforced concrete: assessment, prediction, analysis, and protection	5
<i>Abu A.Z., Bessimbayev Y.T., Zhambakina Z.M.</i> Stability analysis of riverbank retaining structures using Plaxis 2D	21
<i>Brovko I., Aubakirova F., Duissenbekov B., Dossaliev K.</i> The results of observations of typical cases of deformations of the foundations of buildings and the analysis of the mistakes made in the regional conditions of the South of Kazakhstan	34
<i>Bryantsev A.A., Tolebay S.M., Ostapenko I.I., Bukhantseva A.E.</i> Properties on the behaviour of steel-reinforced concrete structures influence of concrete and steel thermophysical	48
<i>Bryantsev A.A., Bolat D., Ostapenko I.I., Dyussenova D.G., Bukhantseva A.E.</i> Parametric study of the plan layout of load-bearing walls in monolithic cross-wall buildings with a flexible first storey	68
<i>Zhumadilova Z., Orynbekov Y., Zhuginissov M., Tolegenova A., Zhagifarov A., Nurlybayev R.</i> Microstructural and elemental characteristics of clay and mineral additives for potential use in ceramic materials	85
<i>Makhiyev B.E., Khapin A.V., Talapov V.V., Kulisz M., Kamenskikh L.V.</i> Training BIM specialists: the role of training and production centers	96
<i>Orazaly Ye.Ye., Tokanov D.T., Mukhamejanova A.T.</i> Assessment of the impact of flooding on foundation deformations of a residential building in Karaganda	108
<i>Sadvakas Zh.M., Kornilova A.A., Yesenbaev A.M., Dyussenova D.G., Gurskaya O.E.</i> Hierarchical structure of the organization of tourist and recreational centers as spatial systems (case study of Northern Kazakhstan)	121
<i>Tasskaliev A.T., Narikov K.A., Shakeshev B.T., Idirisov B.L., Zhumabaeva K.M.</i> Lightweight concrete based on diatomite	139
<i>Tokpayeva A., Karabayev G., Yessenbayev A., Dyussenova D., Saibulatova A.</i> Comprehensive preservation of Kazakhstan's architectural heritage and ensuring the sustainability of its spatial composition	154
<i>Feoktistova Y.A., Gurskaya O.E., Kriulko N.S., Abdykarimova S.T., Barakbayev A.N.</i> Continuity of Milutin's principles in modern urban planning standards of Kazakhstan: analysis, issues, and reform perspectives	166

**EKTU Journal  
of Architectural and Construction Sciences**

Ғылыми журнал  
2026 жылдан шыға бастады.  
Қазақстан Республикасы мәдениет және ақпарат министрлігінде тіркеліп,  
2025 ж. 16 қыркүйегінде № KZ93VPY00129402 қуәлігі берілген.

**EKTU Journal  
of Architectural and Construction Sciences**

Научный журнал  
Издается с 2026 г.  
Зарегистрирован Министерством культуры и информации  
Республики Казахстан. Свидетельство № KZ93VPY00129402 от 16 сентября 2025 г.

**EKTU Journal  
of Architectural and Construction Sciences**

Scientific journal  
Published since 2026  
Registered with the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan. Certificate No.  
KZ93VPY00129402 dated September 16, 2025.

---

Редакторлар – Редакторы  
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова  
Корректорлар – Корректоры  
О.Н. Николаенко, С.С. Мамыраздыкова  
Руководитель редакционно-издательского центра О.Н. Николаенко  
Editors O. Nikolaenko, S. Mamyrzadykova  
Copy editors O. Nikolaenko, S. Mamyrzadykova  
Head of the editorial and publishing center O. Nikolaenko

---

Материалдарды компьютерде терген және беттеген С.С. Мамыраздыкова  
Набор, верстка, изготовление оригинал-макета С.С. Мамыраздыкова  
Text Layout, lead out production of the original layout S. Mamyrzadykova

---

Басуға 30 маусым 2026 ж. қол қойылды.  
Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.  
Көлемі: шартты баспа табағы 19,74, есептік баспа табағы 19,78 .  
Баспа нұсқасы. Таралымы 30 дана. № 143-2026 тапсырыс.  
Бағасы келісім бойынша.

---

Подписано в печать 30 июня 2026 г.  
Формат 84×108/16. Бумага офсетная.  
Объем: усл. печ. л. 19,74 , уч.-изд. л. 19,78.  
Печатная версия. Тираж 30 экз. Заказ № 143-2026.  
Цена договорная.

---

Signed to print on June 30, 2026.  
Format 84'108/16. Offset paper.  
Volume: conventional printing plate 19.74, estimated printing plate 19.78.  
Printed version. Circulation 30 copies. Order No. 143-2026.  
The price is negotiable.

---

Шығыс Қазақстан техникалық университеті. 070004, Өскемен қаласы, Протозанов көшесі, 69.  
Восточно-Казахстанский технический университет. 070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69.  
D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University. 070004, Ust-Kamenogorsk, 69 Protozanov Street.