EKTU JOURNAL OF
ARCHITECTURAL AND
CONSTRUCTION SCIENCES



EKTU JOURNAL OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION SCIENCES

№ 1, 2026

1-том, 1-нөмір, наурыз, 2026.
ISSN (Print): 3134-8041
Том 1, № 1, март 2026.
ISSN (Online): 3134-805X
Vol. 1, Issue 1, March 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)

© Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан
техникалық университеті, 2026

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)

© Восточно-Казахстанский технический
университет им. Д. Серикбаева, 2026

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)

© D. Serikbayev East Kazakhstan
Technical University, 2026

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_1
SRSTI 67.23.13

MULTIFACTOR ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF FACADE RECONSTRUCTION IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF ASTANA

КӨПФАКТОРЛЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ АСТАНА ҚАЛАСЫНЫҢ КЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАСБЕТТЕРДІ ҚАЙТА ҚҰРЫЛЫМДАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ФАСАДОВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ГОРОДА АСТАНА

A.A. Baktybayev[1]*, **R.S. Imambayeva**[2]
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
*Corresponding author: Baktybayev Adil Almasuly, e-mail: adilbaktybaev1234@mail.ru

Keywords:
multifactor analysis, reconstruction methods, optimisation of solutions, energy efficiency, architectural appearance.

ABSTRACT
The article is devoted to a multifactor analysis of the efficiency of facade reconstruction in the established residential buildings of Astana city. Given the sharply continental climate of Kazakhstan's capital, facade renovation plays a crucial role in improving energy efficiency, enhancing the architectural appearance, and extending the service life of buildings. The study examines contemporary approaches to assessing the technical and aesthetic condition of facades, considering factors such as material degradation, thermal insulation performance, and compliance with modern regulatory standards. Various reconstruction methods are analyzed, with a focus on their adaptability to Astana's climatic conditions and their contribution to sustainable urban development. The research identifies key factors influencing the durability and resilience of building facades, including environmental impact, construction materials, and technological advancements in facade engineering. Based on the findings, the study provides recommendations for optimizing design solutions to ensure long-term performance and sustainability. The proposed approaches aim to balance economic feasibility with architectural integrity while addressing urban planning challenges. The results of this work will be useful for professionals in architecture, urban planning, and construction, as well as for policymakers and organizations involved in the development and modernization of urban infrastructure in regions with extreme climate conditions.

Түйінді сөздер:
көп айнымалы талдау, қайта құру әдістері, шешімдерді оңтайландыру, энергия тиімділігі, сәулеттік келбеті.

ТҮЙІНДЕМЕ
Бұл мақала Астана қаласындағы қалыптасқан тұрғын үй ғимараттарының қасбеттерін қайта құру тиімділігін көпфакторлы талдауға арналған. Қазақстан астанасының күрт континенттік климаты жағдайында қасбеттерді жаңарту энергия тиімділігін арттыруда, сәулеттік келбетті жақсартуда және ғимараттардың пайдалану

© 2026 **A.A. Baktybayev**, **R.S. Imambayeva**
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

мерзімін ұзартуда маңызды рөл атқарады. Зерттеуде қасбеттердің техникалық және эстетикалық жағдайын бағалаудың заманауи тәсілдері қарастырылады, оның ішінде құрылыс материалдарының тозуы, жылу оқшаулау көрсеткіштері және заманауи нормативтік талаптарға сәйкестігі ескеріледі. Қайта құру әдістері талданып, олардың Астана климатына бейімділігі және қаланың тұрақты дамуына қосатын үлесі зерттеледі. Ғимарат қасбеттерінің беріктігі мен төзімділігіне әсер ететін негізгі факторлар анықталып, қоршаған орта факторлары, құрылыс материалдары және қасбеттік инженериядағы технологиялық жетістіктер ескерілді. Зерттеу нәтижелері негізінде ұзақ мерзімді тиімділікті және тұрақтылықты қамтамасыз етуге бағытталған жобалық шешімдерді оңтайландыру бойынша ұсыныстар жасалды. Ұсынылған тәсілдер экономикалық тиімділік пен сәулеттік тұтастықты сақтауды көздейді және экстремалды климаттық жағдайлардағы қалалық инфрақұрылымды дамыту мен жаңғыртуға қатысатын сәулет, қала құрылысы және құрылыс саласындағы мамандарға, сондай-ақ мемлекеттік ұйымдарға пайдалы болуы мүмкін.

Ключевые слова:
многофакторный анализ, методы реконструкции, оптимизация решений, энергоэффективность, архитектурный облик.

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена многофакторному анализу эффективности реконструкции фасадов сложившейся жилой застройки города Астаны. В условиях резко континентального климата столицы Казахстана реконструкция фасадов играет важнейшую роль в повышении энергоэффективности, улучшении архитектурного облика и продлении срока службы зданий. В исследовании рассматриваются современные подходы к оценке технического и эстетического состояния фасадов с учетом таких факторов, как деградация материалов, теплоизоляционные характеристики и соответствие современным нормативным требованиям. Анализируются различные методы реконструкции с акцентом на их адаптированность к климатическим условиям Астаны и вклад в устойчивое развитие города. В исследовании определены ключевые факторы, влияющие на долговечность и устойчивость фасадов зданий, включая воздействие окружающей среды, строительные материалы и технологические достижения в области фасадной инженерии. На основе полученных данных в исследовании даны рекомендации по оптимизации проектных решений для обеспечения долгосрочных эксплуатационных характеристик и устойчивости. Предлагаемые подходы направлены на достижение баланса между экономической целесообразностью и архитектурной целостностью, а также на решение градостроительных задач. Результаты данной работы будут полезны для специалистов в области архитектуры, градостроительства и строительства, а также для политиков и организаций, занимающихся развитием и модернизацией городской инфраструктуры в регионах с экстремальными климатическими условиями.

INTRODUCTION

The issue of residential building facade reconstruction is becoming increasingly relevant for Astana, where climatic conditions significantly accelerate the deterioration of construction materials and reduce the operational performance of buildings. During winter, temperatures can drop to -30-35°C, while in summer, they can rise to +30-35°C, creating extreme conditions for facade structures. Additionally, strong wind loads (gusts reaching 20–25 m/s) and high levels of solar radiation contribute to facade degradation, material cracking, and the deterioration of

thermal insulation properties. Consequently, facade reconstruction requires a comprehensive analysis that considers not only the technical condition of buildings but also economic feasibility, energy efficiency, and architectural expressiveness.

The aim of this study is to conduct an analysis to identify key factors influencing the successful reconstruction of facades, aimed at improving durability, energy efficiency, and the aesthetic appearance of residential buildings.

To achieve this goal, an analysis of existing approaches to facade reconstruction was conducted, and a multifactor analysis methodology was developed, including:

- Examination of modern reconstruction technologies and identification of the most effective solutions for the city of Astana.

- Development of a criteria system for evaluating facade systems, incorporating parameters such as material thermal conductivity, mechanical strength, UV resistance, and impact on the architectural appearance of buildings.

- Assessment of the impact of individual factors (e.g., cladding type, insulation thickness, joint sealing) on the overall energy efficiency and operational characteristics of facades.

- Formulation of recommendations for implementing the identified reconstruction methodologies within urban planning programs and construction standards of the Republic of Kazakhstan.

The research hypothesis suggests that the application of multifactor analysis, taking into account the climatic and architectural features of Astana, will enhance the accuracy and justification of design decisions, ensuring durability, energy efficiency, and improved visual characteristics of residential facades.

The relevance of this study is driven by the need to improve urban environmental quality, enhance the energy efficiency of residential buildings, and modernize outdated facades in accordance with contemporary standards. The research is based on an analysis of existing reconstruction practices in countries with similar climatic conditions, including Russia and the northern regions of Europe, with adaptations to the regulatory and technical requirements of Kazakhstan. The obtained results can be utilized for developing facade reconstruction standards aimed at improving the operational characteristics of buildings under the conditions of a sharply continental climate.

LITERATURE REVIEW

The analysis of domestic and international research reveals a significant variety of approaches to facade reconstruction. European publications primarily focus on environmental sustainability and the use of intelligent facade systems that regulate heat exchange and building illumination. Studies conducted in Germany, the United Kingdom, and the Netherlands demonstrate that the use of dynamic facade panels, which adapt to changing weather conditions, can reduce building energy consumption by 20-30% (Soltani, Atashi, 2023).

In countries with cold climates, such as Canada and Finland, the primary emphasis is placed on using facade materials with high thermal resistance, including multilayer insulation systems with a thermal conductivity coefficient of less than 0.035 W/(m·K) (Radić, Dodig, Auer, 2019).

Increasing attention has been paid to the use of structured evaluation frameworks in building renovation studies, particularly in the context of energy-efficient modernization of residential buildings (Radić, Dodig, Auer, 2019; Soltani, Atashi, 2023). Researchers note that facade reconstruction decisions are inherently multi-dimensional, as facade systems simultaneously influence thermal performance, durability, economic efficiency, architectural quality, and indoor comfort conditions.

In this context, multi-criteria decision-making approaches are increasingly applied to support such complex evaluations (Radić, Dodig, Auer, 2019).

For residential buildings located in cold and sharply continental climates, the relevance of integrated evaluation approaches is particularly pronounced (Soltani, Atashi, 2023). Climatic factors such as prolonged heating periods, frequent freeze-thaw cycles, and moisture-related impacts impose increased demands on facade systems, making it necessary to assess reconstruction alternatives from a comprehensive perspective rather than through single-criterion assessments.

These considerations indicate that the application of multifactor evaluation frameworks represents a promising direction for facade reconstruction research. Such approaches complement traditional regulatory and energy-focused studies by providing a structured basis for the comparative analysis of alternative facade systems under severe climatic conditions.

MATERIALS AND METHODS

Multifactor analysis is a comprehensive method for assessing the effectiveness of facade reconstruction, based on a quantitative and qualitative evaluation of multiple influencing factors. The primary objective of this analysis is to determine the prioritization of technical, economic, architectural, and operational characteristics that ensure the durability and energy efficiency of facade systems in the sharply continental climate of Astana.

The study relies on the following methodological principles:

- Systematic approach. Facade reconstruction is considered a multi-level process that includes evaluating the thermal performance of materials, their resistance to climatic factors (frost resistance, water absorption, thermal conductivity), and their impact on building operational costs.

- Hierarchical structure of factors (Figure 1). Key indicators such as energy efficiency levels, the lifespan of cladding materials, resistance to pollution, installation and maintenance costs are identified. For example, ceramic granite cladding has an operational lifespan of over 50 years (GOST R 70573-2022), whereas composite panels may require replacement within 25–30 years under high wind loads.

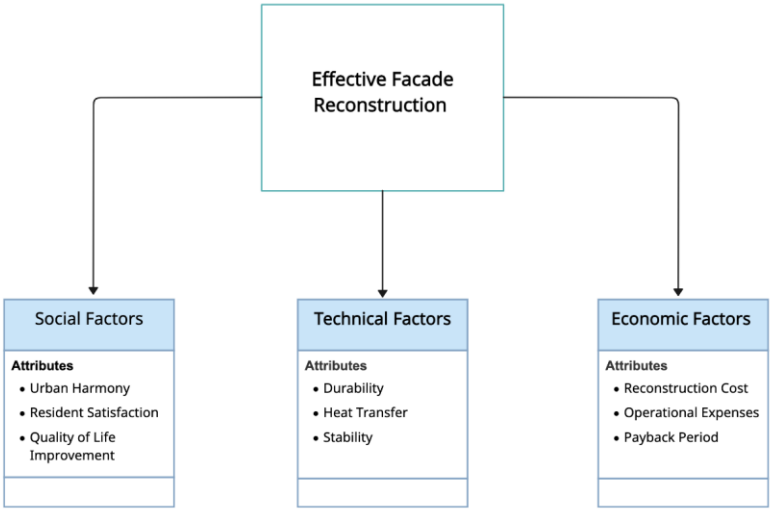


Figure 1. Relationship of factors affecting reconstruction efficiency

Note – compiled by the authors (Baktybayev, 2025)

- Mathematical data processing. To quantitatively assess the impact of various factors, multicriteria analysis methods are applied, including the Analytic Hierarchy Process (AHP) to determine weighting coefficients and establish relationships between selected parameters (Saaty, 1993).

The applied methodology follows a consistent sequence of criteria selection, weighting, and aggregation, which ensures the transparency and reproducibility of the evaluation results for similar residential buildings.

To assess the effectiveness of facade reconstruction, a system of evaluation criteria was developed within a multifactor framework that integrates technical, economic, architectural, and social aspects. Each group of criteria contributes to the overall assessment of reconstruction alternatives.

Technical criteria include material durability, thermal resistance, moisture sensitivity, and resistance to freeze-thaw cycles, which are critical under Astana's sharply continental climate. Material thermal conductivity and frost resistance were considered to reflect the influence of environmental conditions on facade performance.

Economic criteria account for initial reconstruction costs, expected service life of facade systems, and long-term operational efficiency. Architectural criteria address visual quality and the integration of renovated facades into the surrounding urban environment.

The application of this criteria system enables a structured and consistent comparison of alternative facade solutions within the proposed multifactor framework and provides the methodological basis for subsequent analytical evaluation of reconstruction effectiveness.

The decision-making process is formalized using the Analytic Hierarchy Process (AHP). This method decomposes the problem into a hierarchical structure, allowing for the quantification of qualitative criteria through pairwise comparisons.

The model is organized into three levels:

- Goal: Selection of the most effective facade reconstruction strategy.
- Criteria (C_n): The four groups identified (Technical, Economic, Architectural, Social).
- Sub-criteria (S_n): Specific indicators (e.g., $S_{1.1}$ - thermal resistance, $S_{2.1}$ - initial cost).
- Alternatives (A_n): Specific facade systems (e.g., Ventilated facade vs. EIFS).

Pairwise comparisons and weight calculations were performed independently at each hierarchical level of the model.

For each level, a pairwise comparison matrix A is constructed using Saaty's 1-9 scale:

$$A=[a_{ij}]=\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

where a_{ij} represents the relative importance of criterion i over criterion j. The local priority weights are derived by calculating the principal eigenvector of the matrix.

To ensure the reliability of expert judgments, the Consistency Ratio (CR) is calculated:

$$CR=\frac{CI}{RI}$$

where $CI=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$ is the Consistency Index and RI is the Random Index for a matrix of order n. Only results with CR <= 0.10 are considered acceptable for the final synthesis.

The final score for each reconstruction alternative (V_{alt}) is determined by the additive synthesis of local weights:

$$V_{alt}=\sum w_i \times s_i$$

where w_i is the weight of the i-th criterion and s_i is the score of the alternative relative to that criterion.

Pairwise comparisons were performed using Saaty's fundamental 1–9 scale, where higher values indicate stronger relative importance between criteria. Intermediate even values were used when compromise judgments were required. Standard Random Index (RI) values proposed by Saaty were applied for consistency verification.

The selection of evaluation criteria within the proposed multifactor framework was guided by the climatic, regulatory, and operational specificities of residential buildings located in regions with sharply continental climates. Under such conditions, facade systems are exposed to significant thermal gradients, repeated freeze-thaw cycles, and moisture-related impacts, which directly affect their durability and energy performance. Therefore, technical criteria were defined to reflect the ability of facade systems to ensure long-term structural reliability and effective thermal protection. Particular attention was given to thermal resistance, moisture sensitivity, and resistance to freeze-thaw cycles, as these parameters largely determine heat loss levels and the rate of material degradation in cold climates. The prioritization of technical criteria within the model is consistent with national building regulations of the Republic of Kazakhstan (SNiP RK), which emphasize thermal insulation performance and frost resistance as key requirements for building envelopes.

Economic criteria were incorporated to account for practical constraints associated with facade reconstruction projects, including initial investment costs, expected service life, and long-term operational efficiency. In the context of large-scale residential modernization programs, economic feasibility plays a critical role in decision-making, as technically effective solutions must also remain financially justifiable over the building life cycle. Therefore, economic criteria were assigned a significant, though subordinate, weight relative to technical factors.

Architectural criteria address the visual quality and urban integration of reconstructed facades. In dense urban environments, facade modernization influences not only individual buildings but also the overall perception of residential districts. The inclusion of architectural criteria allows the model to capture aspects related to facade composition, material appearance, and compatibility with the existing urban context, which are particularly relevant for renovation projects in established residential areas.

Social criteria were included to reflect the impact of facade reconstruction on indoor comfort and environmental conditions affecting occupants. Improved thermal comfort, reduced air infiltration, and mitigation of moisture-related issues contribute to enhanced living conditions and occupant well-being. Although social factors do not directly determine structural performance, their inclusion ensures a comprehensive evaluation that extends beyond purely technical and economic considerations.

Overall, the selected set of criteria provides a balanced representation of the key factors influencing facade reconstruction effectiveness under Astana's climatic conditions. The adopted classification is consistent with regulatory requirements and ensures practical applicability within the AHP-based decision-making framework.

RESULTS AND DISCUSSION

To demonstrate the application of the proposed multifactor model, quantitative optimization results were obtained through an illustrative evaluation of a typical multi-storey residential building representative of Astana's housing stock and operating under sharply continental climatic conditions. The purpose of this illustrative evaluation is to demonstrate the logical sequence and transparency of the proposed assessment procedure rather than to provide a detailed project-specific solution, thereby facilitating the potential adaptation of the methodology to similar residential buildings.

The weighting procedure reflects the prioritization of criteria that are most influential for facade performance in cold climates, including thermal resistance, material durability, moisture resistance, and long-term operational efficiency. Economic considerations, such as initial investment costs and expected operational savings, were incorporated to ensure practical relevance, while architectural and social criteria were included to account for urban integration and indoor comfort.

By explicitly presenting the weighting structure and final synthesis results, the proposed approach ensures transparency and reproducibility of the decision-making process and enables a consistent comparison of alternative facade reconstruction strategies under Astana's climatic conditions.

Table 1. Pairwise Comparison Matrix for Facade Reconstruction Criteria

Category	Technical	Economic	Architectural	Social	Weight (w_i)
Technical	1	2	3	3	0.45
Economic	1/2	1	2	2	0.25
Architectural	1/3	1/2	1	1	0.15
Social	1/3	1/2	1	1	0.15
Note – compiled by the authors (Baktybayev, 2025)					

The pairwise comparison matrix of the main facade reconstruction evaluation criteria was developed using the Analytic Hierarchy Process (AHP) (Table 1). The relative importance of the criteria was assessed based on expert judgment using Saaty's fundamental 1–9 scale, taking into account the climatic, technical, and operational conditions typical for residential buildings in Astana.

The comparison results indicate the dominant role of technical criteria, which were evaluated as moderately to strongly more important than economic, architectural, and social criteria. This prioritization reflects the critical influence of thermal resistance, durability, and frost resistance on facade performance under sharply continental climatic conditions. Economic criteria were assigned moderate importance, while architectural and social criteria received equal but lower weights, as their impact is primarily indirect in terms of operational efficiency.

The priority vector (w_i) was derived from the normalized principal eigenvector of the comparison matrix, resulting in final weights of 0.45 for technical, 0.25 for economic, and 0.15 for both architectural and social criteria. The consistency of expert judgments was verified, and the consistency ratio satisfied the acceptable threshold (CR ≤ 0.10), confirming the reliability of the weighting procedure.

The obtained weighting structure ensures that the evaluation framework is sensitive to the most critical performance-related parameters of facade systems operating in cold climates and enhances the transparency and reproducibility of the decision-making process.

Table 2. Local and global weights of facade reconstruction evaluation criteria

Category	Weight (w_i)	Sub-criteria	Local weight (s_i)	Global weight ($w_i \cdot s_i$)
Technical	0.45	Thermal resistance (R_0)	0.60	0.27
		Durability and frost resistance	0.40	0.18
Economic	0.25	Initial capital investments	0.70	0.175
		Long-term operational savings	0.30	0.075
Architectural	0.15	Visual quality & urban integration	1.00	0.150
Social	0.15	Indoor thermal comfort	1.00	0.150
Total	1.00		1	1.000
Note – compiled by the authors (Baktybayev, 2025)				

For the Architectural and Social categories, a single representative sub-criterion was considered; therefore, their local weights were set equal to 1.00.

The weighting structure (Table 2) reflects the relative importance of evaluation criteria under the climatic and operational conditions of Astana. The dominant weight assigned to technical criteria (0.45) highlights the critical role of thermal resistance, durability, and frost resistance in facade performance for residential buildings exposed to severe temperature fluctuations. These parameters directly influence heat loss, moisture accumulation, and long-term material degradation, which are key challenges in sharply continental climates.

Economic criteria, assigned a weight of 0.25, represent the necessity to balance technical effectiveness with financial feasibility. While initial investment costs and long-term operational savings are important for decision-making, their influence remains secondary to technical reliability in cold-climate regions. Architectural and social criteria were assigned equal weights (0.15 each), reflecting their complementary role in facade reconstruction projects, where visual integration into the urban environment and improvement of indoor comfort contribute to overall building performance but do not dominate the decision-making process.

This weighting distribution ensures that the proposed multifactor model prioritizes facade solutions capable of delivering long-term thermal reliability and durability, while still accounting for economic constraints and user-oriented considerations. Such an approach reflects the realities of facade reconstruction in cold-climate regions, where insufficient thermal performance can lead to increased operational costs, accelerated material degradation, and reduced service life of building envelopes.

Overall, the adopted weighting structure supports the selection of facade reconstruction solutions that combine technical reliability with acceptable economic performance and qualitative benefits, which is essential for sustainable residential building modernization under Astana's climatic conditions.

To improve the interpretability of the obtained weighting structure, the relative influence of the main groups of evaluation criteria is illustrated (Figure 2).

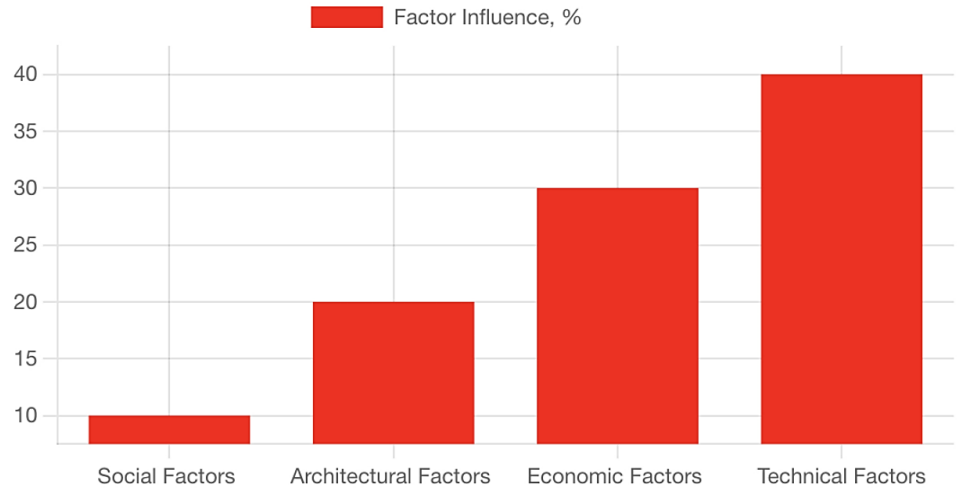


Figure 2. Relative influence of evaluation criteria groups in the multifactor model
Note – compiled by the authors (Baktybayev, 2025)

The distribution of influence among the main evaluation criteria groups within the proposed multifactor framework (Figure 2). The visualization highlights the relative contribution of technical, economic, architectural, and social factors to the overall decision-making process in facade reconstruction projects.

Technical criteria exert the strongest influence on the evaluation outcome. This dominance reflects the critical importance of thermal resistance, durability, and resistance to freeze-thaw cycles

for facade systems operating under Astana's sharply continental climate. Economic criteria represent the second most influential group, indicating the necessity of balancing technical effectiveness with financial feasibility, particularly in large-scale residential renovation programs.

Architectural and social criteria demonstrate a lower but complementary influence within the weighting structure. While these factors do not directly determine the physical performance of facade systems, they contribute to the visual integration of reconstructed buildings into the urban environment and to improvements in indoor comfort conditions for occupants.

The weighting structure (Figure 2) confirms the rationality of the adopted multifactor model and supports a balanced decision-making approach that combines technical reliability, economic feasibility, and qualitative performance aspects. The clear distribution of criterion influence enhances the transparency and interpretability of the quantitative results obtained through the AHP-based synthesis.

To further demonstrate the applicability of the proposed model, a comparative evaluation was performed for two common facade reconstruction alternatives:

- Alternative 1 (A1): Ventilated Facade System (Mineral wool insulation).
- Alternative 2 (A2): External Insulation Finishing System (EIFS / "Wet facade")

Table 3. Final Synthesis of Priorities and Ranking of Alternatives

Category	Global Weight	Score A1 (s_{i1})	Score A2 (s_{i2})	Weighted Score A1 ($w_i \times s_{i1}$)	Weighted Score A2 ($w_i \times s_{i2}$)
Technical	0.45	0.90	0.70	0.405	0.315
Economic	0.25	0.60	0.85	0.150	0.212
Architectural	0.15	0.80	0.75	0.120	0.112
Social	0.15	0.85	0.80	0.127	0.120
Final priority	1.00			0.802	0.759
Note – compiled by the authors (Baktybayev, 2025)					

The results of the final synthesis (Table 3) indicate that Alternative A1 (ventilated facade system with mineral wool insulation) achieves a higher integral priority value (0.802) compared to Alternative A2 (EIFS), which scored 0.759. The leading position of A1 is primarily driven by its superior performance in technical criteria, which have the highest global weight in the overall evaluation. Although Alternative A2 demonstrates stronger economic performance, this advantage is insufficient to offset its lower technical effectiveness under Astana's sharply continental climate.

The obtained ranking remains stable under moderate variations of individual criterion weights, indicating the robustness of the proposed multifactor evaluation. This confirms that the preference for Alternative A1 is not driven by a single criterion but results from the combined influence of multiple factors.

The application of the AHP-based multifactor model demonstrates its effectiveness for the quantitative comparison of facade reconstruction alternatives and provides transparent decision support applicable to residential buildings operating under comparable climatic conditions.

The obtained weighting structure reflects compliance with national Building Codes of the Republic of Kazakhstan (SNiP RK) and indicative regional market conditions, reinforcing the practical relevance of the evaluation results.

Despite the demonstrated effectiveness of the proposed AHP-based multifactor framework, several limitations of the study should be acknowledged. First, the evaluation was conducted in an illustrative manner for a typical residential building; therefore, the obtained results reflect generalized performance trends rather than site-specific conditions. Variations in

building geometry, construction quality, and operational regimes may affect the relative performance of facade systems in practice.

Second, the weighting structure of the evaluation criteria is inherently dependent on expert judgment. Although the Analytic Hierarchy Process includes consistency verification to ensure logical coherence, the resulting weights may vary when alternative expert groups or decision-makers are involved. This characteristic reflects the contextual nature of facade reconstruction decisions influenced by regional priorities, regulatory requirements, and stakeholder preferences.

Third, the assessment does not explicitly incorporate long-term degradation processes such as material aging, prolonged moisture exposure, or changes in thermal properties over time. While durability and frost resistance were considered within the technical criteria, a more detailed life-cycle-oriented modeling could further enhance the robustness of the evaluation.

The analysis focuses on a limited set of commonly used facade reconstruction alternatives. The inclusion of additional facade technologies, such as hybrid or adaptive systems, could influence the final ranking and provide a broader basis for comparison. These limitations highlight opportunities for further refinement and expansion of the proposed framework rather than undermining its applicability.

CONCLUSION

This study developed and applied a multifactor evaluation framework based on the Analytic Hierarchy Process to assess facade reconstruction alternatives for residential buildings operating under the sharply continental climatic conditions of Astana. The proposed methodology enables a transparent and structured comparison of reconstruction solutions by integrating technical, economic, architectural, and social criteria into a unified decision-making model. Such an approach allows for the systematic consideration of multiple, often competing, factors that influence the long-term performance and feasibility of facade modernization projects.

The results of the final synthesis demonstrate that the ventilated facade system with mineral wool insulation achieved a higher integral priority compared to the External Insulation Finishing System (EIFS). This outcome is primarily driven by the dominant influence of technical criteria, particularly thermal resistance and durability under repeated freeze–thaw cycles, which are critical for facade performance in cold-climate regions. Although the EIFS alternative exhibits advantages in terms of lower initial investment costs, these economic benefits are insufficient to compensate for its comparatively lower technical effectiveness and long-term reliability under severe climatic conditions.

The obtained results confirm that facade reconstruction strategies in Astana should prioritize solutions that combine high thermal reliability, resistance to climatic impacts, and adequate economic performance over the building life cycle. The emphasis on technical robustness is especially important given the long heating season, significant temperature fluctuations, and moisture-related challenges characteristic of the region. At the same time, the inclusion of architectural and social criteria ensures that facade reconstruction decisions contribute not only to energy efficiency but also to improved urban aesthetics and indoor comfort.

The proposed AHP-based multifactor framework demonstrates practical applicability for housing modernization programs and can support informed decision-making at both the design and planning stages. Its flexible structure allows adaptation to local regulatory requirements, material availability, and market conditions, making it suitable for broader application in residential building renovation projects across regions with similar climatic characteristics. By providing a transparent basis for comparing alternative facade solutions, the framework can help reduce the risk of suboptimal technical choices driven solely by short-term economic considerations.

Despite the demonstrated effectiveness of the proposed approach, several limitations should be acknowledged. The evaluation was conducted in an illustrative manner for a typical residential building, which implies that the results reflect generalized performance trends rather than site-specific conditions. In addition, the weighting structure of the criteria depends on expert judgment, which may vary depending on stakeholder priorities and regional contexts. Future research may focus on expanding the set of considered facade systems, incorporating life-cycle assessment indicators related to embodied energy and environmental impact, and integrating digital tools such as Building Information Modeling to enhance the predictive and analytical capabilities of the proposed framework.

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest.
FUNDING: This research is funded by the authors' own funds.
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.

REFERENCES

Al-Obaidi, K. M., Al-Obaidi, A. M., & Ismail, M. (2025). Energy-efficient building façades: A comprehensive review of innovative technologies and sustainable strategies. Journal of Building Engineering, 99, 111643. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111643

Alghamdi, A., Alshuwaikhat, H., & Adenle, Y. A. (2025). An integrated framework for sustainable retrofitting of existing university buildings. Discover Sustainability, 5, 38. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00703-7

Barluenga, G., Ladipo, O., Reichard, G., & Leon, R. T. (2016). Cement based facades for mid-rise commercial sustainable and resilient buildings. II International Conference on Concrete Sustainability – ICCS16, 241–249. https://congress.cimne.com/iccs16/frontal/doc/Abstracts.pdf

Dumitrescu, C., Popescu, M., & Schröpfer, T. (2023). Off-site prefabricated hybrid façade systems: A holistic assessment. Journal of Facade Design and Engineering, 11(2), 97–122. https://doi.org/10.47982/jfde.2023.2.A1

Di Salvo, S. (2020). Façade solar control and shading strategies for buildings in the Mediterranean region. Environmental Science and Sustainable Development, 5(2). https://doi.org/10.21625/essd.v5i2.758

El-Sherif, M., & Khalil, E. E. (2019). Energy efficient designs of sustainable buildings in urban environment. E3S Web of Conferences, 111(8), 03036. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911103036

Fico, D., Rizzo, D., Casciaro, R., & Esposito Corcione, C. (2022). Historically accurate reconstruction of the materials and conservation technologies used on the facades of the artistic buildings in Lecce (Apulia, Italy). Materials, 15(10), 3658. https://doi.org/10.3390/ma15103658

Figliola, A. (2019). Climate-adaptive building's facade. FutureEnvelope 12. - Eurac. Bolzano. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28106.62407

Hischier, R., Nowack, B., Gottschalk, F., Hincapié, I., Steinfeldt, M., & Som, C. (2015). Life cycle assessment of facade coating systems containing manufactured nanomaterials. Journal of Nanoparticle Research, 17(1), 68. https://doi.org/10.1007/s11051-015-2881-0

López-Escamilla, Á., Herrera-Limones, R., & León-Rodríguez, Á.L. (2024). Double-skin facades for thermal comfort and energy efficiency in Mediterranean climate buildings: Rehabilitating vulnerable neighbourhoods. Buildings, 14(2), 326. https://doi.org/10.3390/buildings14020326

Nasyrova, A., & Tatarnikov, G. (2020). Features of modern approaches in reconstruction of facades of residential buildings. Bulletin of Science and Practice, 6(5), 280-285. https://doi.org/10.33619/2414-2948/54/35

Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. Journal of Cleaner Production, 143, 710–718. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055

Radić, M., Dodig, M. B., & Auer, T. (2019). Green facades and living walls—A review establishing the classifications of construction types and mapping the benefits. Sustainability, 11(17), 4579. https://doi.org/10.3390/su11174579

Saaty, R.W. (1987) The Analytic Hierarchy Process—What It Is and How It Is Used. Mathematical Modelling, 9, 161–176. http://dx.doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8.

Seglins, V., & Kukela, A. (2016). Characteristic weathering types on the facades of Basilica of San Gavino at Sardinia. Materials and Structures, 49(12), 5209–5225. https://doi.org/10.1617/s11527-016-0855-z

Semeraro, T., Calisi, A., Hang, J., Emmanuel, R., & Buccolieri, R. (2024). Nature-based solutions planning for urban microclimate improvement and health: An integrated ecological and economic approach. Land, 13(12), 2143. https://doi.org/10.3390/land13122143

Soltani, M., & Atashi, A. (2023). Designing a kinetic façade using BB-BC algorithm with a focus on enhancing building energy efficiency. arXiv preprint arXiv:2310.18650. https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.18650

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Бақтыбаев Адиль Алмасұлы – магистрант, Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
Бактыбаев Адиль Алмасулы – магистрант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан
Baktybayev Adil Almasuly – Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: adilbaktybaev1234@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-8261-7618



Имамбаева Райхан Сальтаевна – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
Имамбаева Райхан Сальтаевна – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан
Imambayeva Raikhan Saltayevna – Candidate of Technical Sciences, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: imambayeva_rs@enu.kz,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0806-3308

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_2
МРНТИ 67.09.33

Статья ретрагирована

Данная статья ретрагирована решением редакции EKTU Journal of Architectural and Construction Sciences в связи с дублирующей публикацией материала, ранее опубликованного в журнале Technobius.
Дата ретракции: 09.07.2026 г.
Уведомление о ретракции: https://journals.ektu.kz/jacs/article/view/2067.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ СУЛЬФОНАТ НАТРИЯ НА НЕАВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН

АВТОКЛАВТАЛМАҒАН ГАЗОБЕТОНҒА СУЛЬФОНАТ НАТРИЙ ҚОСУДЫҢ ӘСЕРІ

THE EFFECT OF SODIUM SULFONATE ADDITION ON NON-AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

Н.М. Беккалиев [1]*, **Е.Е. Сабитов** [1]
[1]Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
*Автор-корреспондент: Беккалиев Нурлан Мейрамович, nurlan_b-90@mail.ru

Ключевые слова:
Газобетон, сульфонат натрия, неавтоклавное твердение, алюминиевая пудра, ячеистая структура.

АННОТАЦИЯ

В данной работе исследуются особенности получения неавтоклавного газобетона с добавлением сульфонат натрия, используемого для стабилизации газообразования в составе смеси. Рассмотрены химические механизмы газообразования, а также влияние поверхностно-активной добавки на формирование структуры материала. Определены оптимальные дозировки в зависимости от проектируемой плотности изделий. Экспериментально показано, что использование сульфонат натрия способствует повышению прочности и снижению плотности газобетона при отказе от автоклавной обработки.

Түйінді сөздер:
Газдалған бетон, натрий сульфонаты, автоклавталмаған қатаю, алюминий ұнтағы, кеуекті құрылым.

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл жұмыста қоспадағы көбік түзуді тұрақтандыру үшін қолданылатын натрий сульфонатын қосу арқылы автоклавталмаған газдалған бетонды алу ерекшеліктері қарастырылады. Газ түзілудің химиялық механизмдері, сонымен қатар беттік-белсенді қоспаның материал құрылымының қалыптасуына әсері қарастырылады. Оңтайлы дозалар өнімнің жобаланған тығыздығына байланысты анықталады. Автоклавты өңдеуден аулақ болған кезде натрий сульфонатын қолдану газдалған бетонның беріктігінің жоғарылауына және тығыздығының төмендеуіне ықпал ететіні эксперименталды түрде көрсетілген.

© 2026 **Н.М. Беккалиев, Е.Е. Сабитов**
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/

RETRACTED / РЕТРАГИРОВАНА

Keywords:
Aerated concrete, sodium sulfonate, non-autoclave hardening, aluminum powder, cellular structure.

ABSTRACT
This study investigates the features of producing non-autoclaved aerated concrete with the addition of sodium sulfonate, used to stabilize foam formation in the mixture. The chemical mechanisms of gas generation and the effect of the surfactant additive on the formation of the material's structure are examined. Optimal dosages are determined depending on the designed density of the products. Experimental results show that the use of sodium sulfonate contributes to increased strength and reduced density of aerated concrete while eliminating the need for autoclave treatment.

ВВЕДЕНИЕ

Ячеистые бетоны считаются одними из наиболее востребованных материалов в современном строительстве благодаря их малому удельному весу, высоким теплоизоляционным свойствам и удовлетворительной прочности (Lukpanov R и др., 2024). Среди разновидностей данных материалов особое значение имеет неавтоклавный газобетон, технология производства которого не требует сложного и дорогостоящего автоклавного оборудования (Lukpanov R и др., 2024).

Одной из ключевых технологических проблем при производстве такого материала остаётся стабилизация газовой структуры в процессе твердения. Эффективным решением в данном направлении является использование сульфонат натрия – анионного ПАВ, способствующего формированию равномерной ячеистой структуры (Rahman, Islam & Hoque, 2015).

На практике в рецептуры неавтоклавного газобетона нередко вводят модифицирующие добавки. В их числе особенно перспективным является сульфонат натрия (Na–SO_3-соединения), выполняющий одновременно функции поверхностно-активного компонента, пластификатора и регулятора структуры пор.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы и составы

В качестве основного газообразующего компонента в исследованиях применялась тонкодисперсная алюминиевая пудра марки ПАК-3, характеризующаяся высокой реакционной способностью в щёлочной среде цементного теста и обеспечивающая стабильное выделение газообразного водорода при взаимодействии с гидроксидом кальция.

В качестве вяжущего был использован портландцемент марки М500. В качестве мелкого заполнителя был применён кварцевый песок с размером частиц не более 2,5 мм (Песок для строительных работ. Технические условия. 2014). В качестве химической добавки был использован натриевый сульфонат, который вводился в количестве 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 и 0,25 % от массы цемента. Водоцементное отношение (В/Ц) было принято постоянным для всех составов и составляло 0,45. Для каждой дозы добавки было изготовлено не менее трёх параллельных образцов для испытания прочности и трёх – для испытания на истираемость.

Экспериментальные испытания проводились с целью оценки эффективности применения сульфоната натрия в составе неавтоклавного газобетона и определения его влияния на прочностные и эксплуатационные характеристики материала. Основное внимание в ходе исследований было уделено изменению прочности при сжатии и показателей истираемости в зависимости от введения добавки.

Приготовление смесей

Пропорции компонентов были рассчитаны на один замес, исходя из массы цемента, песка и воды. Натриевый сульфонат предварительно был растворён в части воды затворения, после чего полученный раствор был добавлен к основной воде. Сухие компоненты были перемешаны в лабораторном смесителе в течение 60–90 секунд, затем

RETRACTED / РЕТРАГИРОВАНА

был введён раствор сульфоната и перемешивание было продолжено ещё 2–3 минуты до получения однородной консистенции. После этого была зафиксирована температура смеси и общее время замеса.

Формование образцов

Образцы для испытаний были сформованы в металлические формы размером 100×100×100 мм (для прочности) и 70×70×40 мм (для истираемости). Смесь была уложена в формы в один-два слоя с лёгким уплотнением штыкованием без вибрации. Поверхность была выровнена шпателем, после чего формы были укрыты полиэтиленовой плёнкой и выдержаны 24 ± 4 часа при температуре (20 ± 2) °C.

Твердение

Через 24–48 часов была проведена распалубка образцов. Относительная влажность воздуха на уровне не ниже 50 % была принята с целью обеспечения нормального протекания процессов гидратации цемента в условиях естественного твердения. При более низкой влажности происходит интенсивное испарение влаги с поверхности образцов, что может приводить к преждевременному высыханию цементного камня, нарушению формирования гидратационных новообразований и появлению усадочных микротрещин. Поддержание относительной влажности не ниже 50 % позволяет сохранить в системе достаточное количество свободной воды, необходимой для протекания гидратационных реакций в ранние и последующие сроки твердения. Это особенно важно для неавтоклавного газобетона, обладающего развитой пористой структурой и повышенной склонностью к потере влаги.

Таким образом, выбранные условия твердения (температура 20–25 °C и относительная влажность не ниже 50 %) обеспечивают воспроизводимость экспериментальных результатов и соответствуют условиям нормального твердения цементных материалов.

Испытание на прочность при сжатии

Испытания на прочность при сжатии были проведены на 28-е сутки в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012. В качестве оборудования был использован гидравлический пресс с диапазоном нагрузки до 1000 кН. Перед испытанием поверхности образцов были очищены, геометрические размеры были измерены. Нагрузка прикладывалась с постоянной скоростью 0,5–0,8 МПа/с до разрушения образца.

Испытание на истираемость

Испытания на истираемость были выполнены согласно ГОСТ 13087-2018 (метод Беме). Для испытаний были использованы образцы размером 70×70×40 мм. Поверхность образцов была подготовлена в соответствии со стандартом. В работе был применён прибор Беме – вращающийся диск с абразивом (кварцевый песок фракции 0,5–1,0 мм). Нагрузка составляла около 294 Н (30 кгс). Испытания были проведены при стандартном числе двойных ходов, согласно требованиям нормативной документации. После завершения испытаний образцы были очищены и высушены при температуре (105 ± 5) °C до постоянной массы.

Результаты испытаний могут быть выражены через потерю массы Δm (г) и/или объёмное истирание $\Delta V = \Delta m/\varrho$ (см³), пересчитанные на испытанную поверхность. Для каждой серии было определено среднее значение ($n \geq 3$).

Зависимость прочности газобетона от дозировки сульфонат натрия

Добавление сульфоната натрия оказывает значительное влияние на качество структуры пор, что, в свою очередь, сказывается на конечной прочности материала (табл. 1). Было сделано наблюдение, что существует оптимальная зона дозировки добавки: при недостаточном количестве эффект стабилизации газообразования выражены слабо, тогда как избыток приводит к ухудшению прочности из-за чрезмерного образования мелких пор.

RETRACTED / РЕТРАГИРОВАНА

Основные компоненты смеси:

• Портландцемент М500 – основной вяжущий материал (предел прочности на сжатие 42–50 МПа) (Lukpanov, R.E. и др. 2021).

• Кварцевый песок – заполнитель с содержанием SiO2 не менее 90 %;

• Алюминиевая пудра – газообразователь со средней активностью 90–95 % (Sabitov, Y.Y. и др.2021)

• Вода – соответствует требованиям ГОСТ РК 13263-2015 на питьевую воду (Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль качества, 2015).

• Сульфонат натрия – добавка, стабилизирующая газовые поры, с формулой:

$$C_nH_{2n+1}-C_6H_4-SO_3Na, \quad n=10\text{–}14$$ (Rahman, Islam & Hoque, 2015).

Пример рецептуры (на 1 м³ газобетона):

• Портландцемент М500 – 250 кг

• Кварцевый песок – 500 кг

• Вода – 250 л

• Алюминиевая пудра — 0,06–0,08 кг

• Сульфонат натрия — 0,5–1,0 кг

В ходе экспериментов было установлено, что введение сульфоната натрия ($R–SO_3Na$, где R представляет собой органический радикал) способствует равномерному распределению газовых пузырьков в массе смеси. Это достигается за счёт снижения поверхностного натяжения воды, что улучшает пластичность состава и способствует формированию однородной пористой структуры.

Роль сульфонат натрия в стабилизации газообразования

Химическая формула типичного линейного алкилбензолсульфоната натрия:

$$C_nH_{2n+1}–C_6H_4–SO_3Na$$

где: n обычно варьируется от 10 до 14 (углеродный скелет «хвоста» молекулы).

При добавлении в водную суспензию сульфонат натрия диссоциирует:

$$R–SO_3Na \rightarrow R–SO_3^- + Na^+ \quad (1)$$

где: R – углеводородная часть молекулы,

SO_3^- – сульфонат-анион,

Na^+ – натрий-катион

В ходе анализа было сделано выяснение механизма действия добавки:

– анионные группы SO_3^- проявляют высокую поверхностную активность;

– они адсорбируются на поверхности пузырьков выделяющегося водорода;

– за счёт этого создаётся электростатический барьер, препятствующий их слипанию;

– в результате было сделано формирование устойчивой структуры, обеспечивающей равномерное распределение газовых пор.

Таким образом, подтверждено влияние сульфоната натрия на повышение стабильности газовой фазы в смеси, что способствует образованию равномерной ячеистой структуры и на прочностные характеристики неавтоклавного газобетона.

Таблица 1. Зависимость газобетона от дозировки сульфонатом натрия

Дозировка сульфонат натрия от массы цемента (%)	Прочность на сжатие через 28 суток (МПа)	Примечание
1	2	3
0 % (без добавки)	1,5–2,0	Базовый уровень
0,05 %	2,0–2,2	Небольшое повышение

RETRACTED / РЕТРАГИРОВАНА

Окончание таблицы 1

1	2	3
0,10 %	2,3–2,5	Оптимальное улучшение структуры
0,12 %	2,5–2,7	Максимальный положительный эффект
0,15 %	2,4–2,6	Лёгкое снижение из-за переуплотнения
0,20 %	2,0–2,2	Структура ухудшается, переувлажнение
Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)		

В ходе проведённых исследований была установлена, эффективность дозировки сульфонатом натрия в пределах 0,10–0,15 % от массы цемента (Бетоны ячеистые. Общие технические условия, 2009), (Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия, 1985). Было выявлено, что введение добавки в указанных пределах способствует повышению прочности материала на 15–25 % по сравнению с контрольной смесью без модификатора.

При превышении оптимального содержания сульфоната натрия было сделано наблюдение ухудшения структуры газобетона, что объясняется нестабильным вспучиванием и переувлажнением массы в процессе газообразования. Применение данной добавки было сделано с целью обеспечения формирования более однородной и прочной структуры, обладающей улучшенными теплоизоляционными свойствами. Это достигается благодаря стабилизации водородных пузырьков, образующихся при реакции алюминиевой пудры с гидроксидом кальция, что способствует равномерному распределению пор по объёму материала. Прочность неавтоклавного газобетона зависела от содержания сульфоната натрия и достигала максимума при 0,12 % от массы вяжущего, что обеспечивало рост прочности на сжатие на 18–20 % по сравнению с контрольными образцами.

Установлено, что улучшенная стабилизация газообразования была сделана фактором, способствующим формированию равномерной пористости, в результате чего коэффициент теплопроводности материала снижается на 10–15 % по сравнению с базовым составом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках действующего производственного процесса на предприятии ТОО «BatysStroyEngineering» в технологическую схему приготовления газобетонной смеси с расчётной плотностью D700 было внедрено использование сульфоната натрия в качестве ускорителя твердения и структурообразующей добавки. Предложено вводить сульфонат натрия непосредственно в сухую компонентную смесь.

Для определения степени влияния данной добавки на физико-механические свойства материала был проведён эксперимент, в ходе которого варьировалось количество сульфоната натрия от 0 % до 0,15 % от массы цемента. Контрольным образцом служил состав ГБ1 без добавки, тогда как образцы ГБ2, ГБ3 и ГБ4 содержали соответствующее количество сульфоната натрия. Все составы были изготовлены при расчётной плотности D700.

Рекомендуемое количество сульфоната натрия было сделано уточнением с учётом заданной плотности конечного продукта (Бетоны ячеистые. Общие технические условия, 2009), что представлено в таблицах 2 и 3.

RETRACTED / РЕТРАГИРОВАНА

Таблица 2. По выбору дозировки сульфонат натрия

Требуемая плотность газобетона (кг/м³)	Рекомендуемая дозировка сульфонат натрия (% от массы цемента)	Примечания
300–400	0,12–0,15	Максимально лёгкие и теплоизоляционные блоки, требуется стабильное газообразование
400–500	0,10–0,12	Стеновые блоки с хорошим балансом прочности и теплопроводности.
500–600	0,08–0,10	Более плотные блоки для перегородок и несущих стен в малоэтажном строительстве.
600–700	0,05–0,08	Усиленные блоки с акцентом на прочность, меньшее газообразование.
>700	0-0,05	Конструкционный ячеистый бетон, сульфонат может быть не нужен.
Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)		

Из таблицы видно, что рекомендуемая дозировка сульфоната натрия зависит от плотности газобетона. Для наиболее лёгких блоков с плотностью 300–400 кг/м³ оптимальная дозировка составляет 0,12–0,15 % от массы цемента, что обеспечивает стабильное газообразование и высокую теплоизоляцию. При увеличении плотности до 400–500 кг/м³ дозировка снижается до 0,10–0,12 %, так как плотные блоки требуют меньшее количество газообразователя для поддержания равномерной структуры. Таким образом, существует прямая зависимость: чем ниже плотность, тем выше расход сульфоната натрия для сохранения качественной пористой структуры.

Таблица 3. Изменение свойств газобетона при введении модифицирующей добавки

Свойство	Изменение	Показатели без добавки	Показатели с добавкой	Комментарий
Пластичность смеси	Увеличивается	14–16 см по осадке конуса	17–19 см	Повышение пластичности улучшает формуемость и однородность смеси.
Равномерность пор	Повышается	Размер пор 1,2–1,8 мм	Размер пор 0,8–1,2 мм	Более стабильная и однородная структура пор за счёт стабилизации газообразования
Объемная масса, кг/м³	Снижается	580–600	520–540	Материал становится легче, повышается теплоизоляционная способность.
Прочность на сжатие, МПа	Повышается (~5–10 %)	2,8–3,0	3,1–3,3	Уплотнение структуры и улучшение связей между новообразованиями цементного камня.
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Уменьшается	0,135–0,145	0,115–0,125	Снижение плотности и улучшение равномерности пор уменьшает теплопроводность.
Водопоглощение, % по массе	Немного увеличивается	32–34	35–37	Повышение открытой пористости способствует незначительному росту водопоглощения.
Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)				

RETRACTED / РЕТРАГИРОВАНА

При снижении требуемой плотности газобетона возрастает необходимость в усиленной стабилизации газовой фазы, что требует увеличения дозировки сульфонат натрия.

Для составов с повышенной плотностью (более 600 кг/м³) чрезмерное газообразование нежелательно, поэтому количество добавки должно быть минимальным.

Таблица 4. Составы газобетонных исследуемых образцов с сульфонатом натрия

Компоненты	№ состава				
	ГБ1 (по заводской технологии)	ГБ2	ГБ3	ГБ4	ГБ5
Песок, кг	403	403	403	403	403
Цемент, кг	310	310	310	310	310
Вода, *л*	260	260	260	260	260
Каустическая сода,кг	3	3	3	3	3
Алюминиева пудра, гр	550	550	550	550	550
Содержание сульфоната натрия, %	0	0,05	0,10	0,15	0,20
Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)					

Эффективность получения однородной структуры зависит не только от точного дозирования сульфонат натрия, но и от корректного соотношения газообразующего компонента — алюминиевой пудры (рис. 1).



Рисунок 1. График зависимости прочности газобетона от содержания сульфонат натрия

Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследовании (Беккалиева Н.М., 2025)

Максимальная прочность достигается при дозировке около 0,10–0,15 %.

Все сравнительные испытания проводились по нижеперечисленными показателями: в сухом виде средняя плотность в; прочность на сжатие; коэффициент конструктивного качества. Результаты физико-механических испытаний образцов газобетона с различным количеством сульфонатом натрия представлены на рис. 2.

RETRACTED

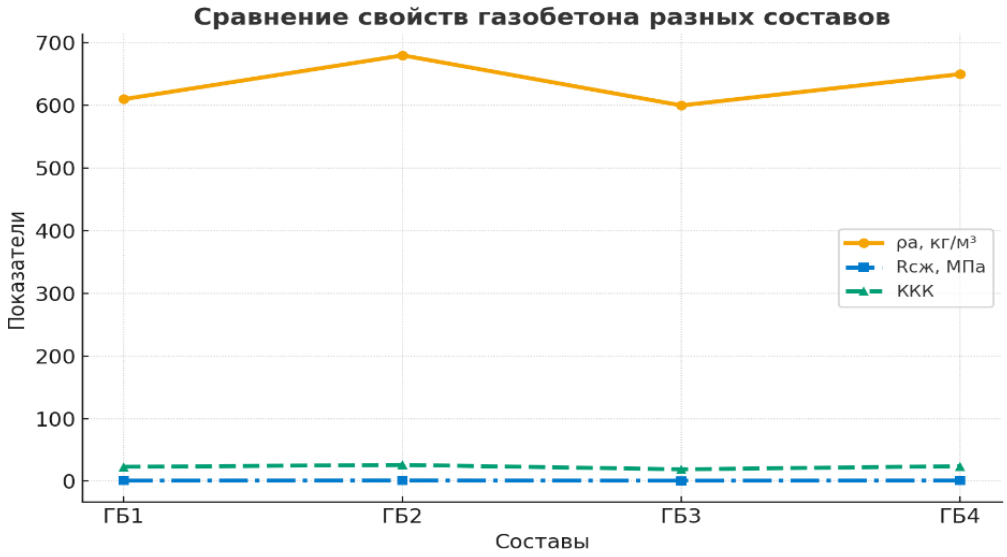


Рисунок 2. Показатели физико-механических испытаний образцов газобетона с различным количеством сульфоната натрия

Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследований (Беккалиева Н.М., 2025)

Проведённые исследования показали, что введение сульфонат натрия в состав неавтоклавного газобетона способствует увеличению прочности на сжатие в диапазоне от 10 до 45 %, одновременно повышая его плотность приблизительно на 12 %. Для объективного анализа эффективности данной технологии и её воздействия на формирование структуры материала были рассчитаны коэффициенты конструктивного качества (ККК) для двух типов составов: контрольного (ГБ1) и оптимального (ГБ4). Результаты физико-механических испытаний этих образцов представлены на рисунке 3.

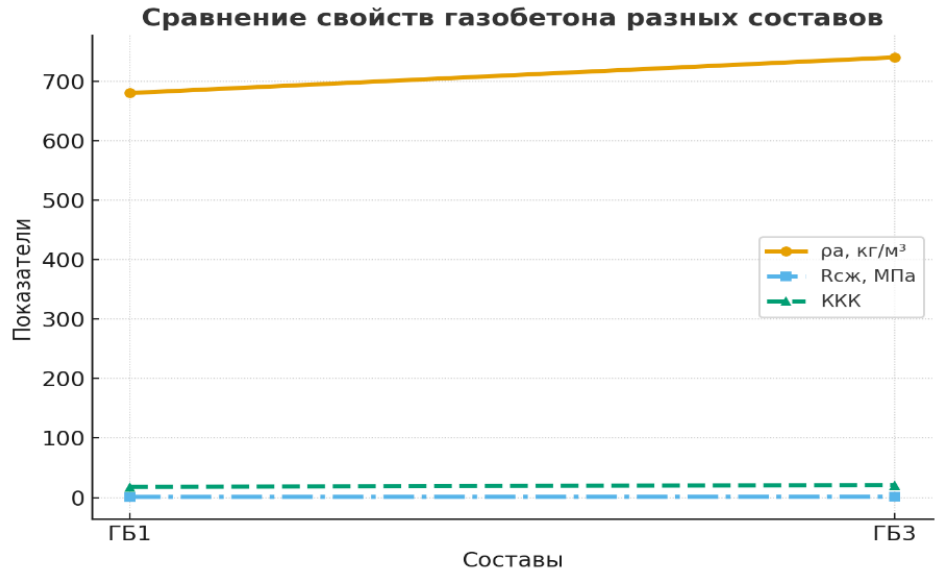


Рисунок 3. Данные физико-механических испытаний образцов газобетона

Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследовании (Беккалиева Н.М., 2025)

RETRACTED / РЕТРАКТИРОВАНА

Согласно результатам расчётов, коэффициент конструктивного качества у состава ГБ4 оказался на 20,4 % выше по сравнению с ГБ2 и на 31 % превышает аналогичный показатель у промышленного образца ГБ1 (ГБ1 – контрольный, ГБ4 – состав с наилучшими показателями). Это позволило классифицировать состав ГБ4 как оптимальный и использовать его в последующих этапах исследований (табл. 5).

Таблица 5. Результаты испытаний образцов газобетона на прочность на сжатие с различным количеством сульфоната натрия

Наименование показателей, единица измерения	Наименование состава	НД на методы испытаний	Фактические значения
Прочность образца, МПа	ГБ1 (контрольный)	ГОСТ 10180-2012	5,81
	ГБ2		6,1
	ГБ3		6,72
	ГБ4		6,45
Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследовании (Беккалиева Н.М., 2025)			

Процентное содержание добавки в каждом составе представлено в табл. 4. Испытания были проведены на базе Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета в испытательной лабратории «Строительных материалов и строительной теплофизики».

Для определения устойчивости газобетона к механическому истиранию проведены лабораторные испытания в соответствии с требованиями ГОСТ 13087-2018 (Бетоны. Методы определения истираемости, 2018).



Рисунок 4. Испытаний образцов газобетона на прочность при сжатии
Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследовании (Беккалиева Н.М., 2025)

Испытания выполнялись на оборудовании «Прибор для определения истираемости бетона по изменению массы» модели ИБ-1, обеспечивающем контролируемое воздействие абразивного материала на поверхность образцов.

RETRACTED

Методика испытаний включала следующие этапы:

– подготовка и взвешивание образцов стандартного размера (70×70×40 мм) до начала испытания;

– помещение образцов в барабан прибора ИБ-1;

– проведение истирания абразивными телами в течение заданного времени;

– взвешивание образцов после испытания и определение величины истираемости по изменению массы (г/см²).

Результаты показали, что образцы газобетона с введением добавоки сульфонат натрия, обладают меньшей величиной истираемости по сравнению с контрольными, что свидетельствует о повышенной износостойкости материала. (табл. 6).

Таблица 6. Результаты испытаний образцов газобетона на величина истираемости по изменению массы с различным количеством сульфоната натрия

Наименование показателей, единица измерения	Наименование состава	НД на методы испытаний	Нормы по НД	Фактические значения
Величина истираемости по изменению массы, г/см², не более	ГБ1 (контрольный)	ГОСТ 13087-2018	Не более 0,9	0,84 (марка G2)
	ГБ2			0,76 (марка G2)
	ГБ3			0,71 (марка G1)
	ГБ4			0,75 (марка G1)
Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследовании (Беккалиева Н.М., 2025)				

На основании данных, представленных в таблице 6, можно сделать вывод о влиянии добавки сульфоната натрия на истираемость газобетонных образцов. Контрольный состав (ГБ1), не содержащий добавки, показал истираемость на уровне 0,84 г/см², что соответствует марке G2 по ГОСТ 13087-2018 (Rahman, Islam & Hoque, 2015). Добавление сульфоната натрия в составах ГБ2–ГБ4 привело к заметному снижению величины истираемости. Так, образец ГБ2 продемонстрировал снижение истираемости до 0,76 г/см², что также соответствует марке G2, но свидетельствует о некотором улучшении показателя по сравнению с контрольным образцом. Наибольшее снижение истираемости наблюдается у образца ГБ3, где данный показатель составил 0,71 г/см², что позволило отнести его уже к марке G1, то есть к более высокому классу по стойкости к истиранию. Аналогичный эффект наблюдается и у состава ГБ4 (0,75 г/см², марка G1), что подтверждает стабильное положительное влияние добавки на износостойкость материала.

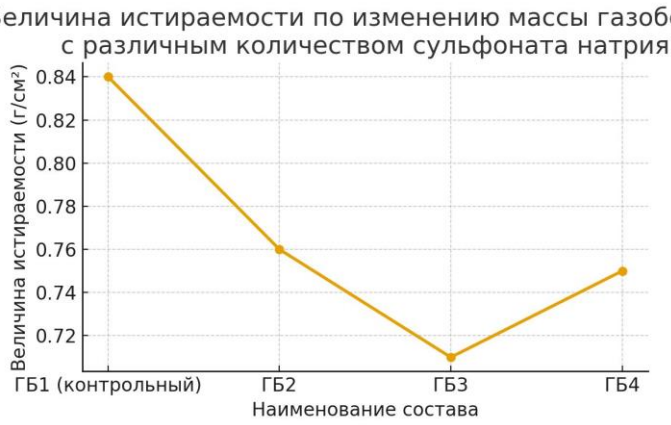


Рисунок 5. Диаграмма показателей образцов газобетона на истриаемость

Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследовании (Беккалиева Н.М., 2025)

RETRACTED / РЕТРАКТИРОВАНА

Диаграмма показывает, что с увеличением количества сульфоната натрия истираемость газобетона уменьшается: от 0,84 г/см² у контрольного образца до 0,71 г/см² у состава ГБЗ.



Рисунок 6. Испытания образцов газобетона на величину истираемости
Примечание – составлено автором на основе данных по результатам исследовании (Беккалиева Н.М., 2025)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основное направление проведённых исследований заключалось в изучении влияния добавки сульфоната натрия на свойства неавтоклавного газобетона и определении оптимальных параметров его применения для получения лёгких и прочных строительных материалов, соответствующих современным требованиям строительства жилых и промышленных зданий.

В процессе испытаний установлено, что добавление сульфоната натрия способствует улучшению структуры неавтоклавного газобетона за счёт более равномерного распределения газовых пор и повышения плотности межпоровых перегородок. Эти структурные изменения оказывают прямое влияние на формирование более прочного цементного камня, что приводит к увеличению прочности при сжатии по сравнению с контрольными образцами без добавки.

Одновременно с ростом прочностных характеристик применение сульфоната натрия положительно влияет на сопротивляемость материала абразивному износу. Снижение дефектности поверхностных слоёв и повышение целостности структуры способствуют уменьшению потери массы при испытаниях на истираемость, что свидетельствует о повышении эксплуатационной устойчивости неавтоклавного газобетона.

Таким образом, проведённые испытания подтверждают, что использование сульфоната натрия в качестве модифицирующей добавки является эффективным способом повышения прочности и износостойкости неавтоклавного газобетона за счёт оптимизации процессов структурообразования.

В работе особое внимание уделялось физико-механическим свойствам газобетона: прочности на сжатие, плотности, равномерности пористой структуры, устойчивости к истиранию и теплоизоляционным характеристикам. Для улучшения свойств материала применялось введение сульфоната натрия в диапазоне 0,10–0,15 % от массы цемента, что позволило стабилизировать газовую фазу и обеспечить формирование равномерной ячеистой структуры.

Результаты проведённых испытаний показали, что при соблюдении оптимальных технологических параметров достигается снижение плотности газобетона до 400–500 кг/м³

RETRACTED / РЕТРАКТОВАНА

при сохранении прочностных характеристик на уровне 2,5–2,7 МПа. Одновременно наблюдается повышение однородности структуры и стойкости материала к механическому истиранию, что положительно сказывается на долговечности изделий.

Разработанная технология позволяет отказаться от энергоёмкого автоклавного твердения без снижения эксплуатационных свойств газобетона, что делает производство более экономически эффективным и экологически безопасным. Введение сульфоната натрия способствует:

– повышению прочностных и теплоизоляционных характеристик;

– снижению плотности и веса изделий;

– улучшению однородности пористой структуры;

– снижению себестоимости производства и увеличению конкурентоспособности продукции.

Полученные результаты подтверждают возможность применения технологии производства неавтоклавного газобетона с использованием сульфоната натрия в промышленном строительстве. В дальнейшем данные результаты могут быть использованы для разработки рецептур легких и теплоизоляционных блоков с заданными прочностными характеристиками, а также для совершенствования технологий получения газобетона с улучшенными эксплуатационными свойствами для различных конструктивных элементов зданий и сооружений.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Конфликт интересов отсутствует.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Данная статья подготовлена в рамках диссертационной работы докторанта Н.М. Беккалиева на тему «Влияние повышенной щелочной среды на структуру ячеек газобетона не автоклавного твердения», за счет собственных средств.

БЛАГОДАРНОСТИ: Благодарим директора ТОО «BatysStroyEngineering» Хамитова Ерлана Ергеновича за предоставленную помощь в ходе проведения исследовании по данному направлению.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: Исскуственный интеллект не использовался.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Lukpanov, R. E., Dyussembinov, D., Shakhmov, Z., Tsygulyov, D., & Yenkebayev, S. (2022). Influence of the technological foam concrete manufacturing process on its pore structure. Magazine of Civil Engineering. https://doi.org/10.55956/ZSWL8979

Lukpanov, R. E., Dusembinov, D. S., Yenkebayev, S. B., & Tsygulyov, D. V. (2021). Ratio of the ash concentration to the cement binder in the composition of concrete with the use of a modified additive. Journal of Physics: Conference Series. https://doi.org/10.55956/VCZA6932

Sabitov, Y. Y., Dyussembinov, D. S., Zhumagulova, A. A., Bazarbayev, D. O., & Lukpanov, R. E. (2021). Composite non-autoclaved aerated concrete based on an emulsion. Magazine of Civil Engineering.

Lukpanov, R., Dyussembinov, D., Altynbekova, A., Yenkebayev, S., & Zhumagulova, A. (2024). Investigation of effect of proposed two-stage foam injection method and modified additive on workability of foam concrete. Materials. https://doi.org/10.55956/ZSWL8979

Rahman, M. M., Islam, M. S., & Hoque, M. M. (2015). Effect of surfactant type on properties of aerated concrete. Construction and Building Materials, 101, 50–57.

ГОСТ 31359–2007. Бетоны ячеистые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2009. // GOST 31359–2007. Betony yacheistye. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Cellular concretes. General technical specifications]. (In Russ.)

RETRACTED / РЕТРАГИРОВАНА

ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1985. // GOST 10178–85. Portlandtsement i shlakportlandtsement. Tekhnicheskie usloviya [Portland cement and slag Portland cement. Technical specifications]. (In Russ.)

ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия. — Астана: КазСтандарт, 2014. – 24 с. // GOST 8736–2014. Pesok dlya stroitel'nykh rabot. Tekhnicheskie usloviya [Sand for construction works. Technical specifications]. (In Russ.)

ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности. – Астана: КазСтандарт, 2012. – 40 с. // GOST 10180–2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti [Concretes. Methods for strength determination]. (In Russ.)

ГОСТ 13087–2018. Бетоны. Методы определения истираемости. – Астана: КазСтандарт, 2018. – 36 с. // GOST 13087–2018. Betony. Metody opredeleniya istiraemosti [Concretes. Methods for abrasion resistance determination]. (In Russ.)

ГОСТ 13263–2015. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль качества. – Астана: КазСтандарт, 2015. – 28 с. // GOST 13263–2015. Voda pit'evaya. Gigienicheskie trebovaniya i kontrol' kachestva [Drinking water. Hygienic requirements and quality control]. (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Беккалиев Нурлан Мейрамович – техника ғылымдарының магистрі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
Беккалиев Нурлан Мейрамович – магистр технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
Bekkaliev Nurlan Meiramovich – Master of technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: Nurlan_b-90@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7745-1358



Сабитов Ерлан Енжилович – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
Сабитов Ерлан Енжилович – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
Sabitov Erlan Enzhilovich – Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: e_sabitov@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3784-8657

RETRACTED / РЕТРАКТИРОВАНА

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_3
МРНТИ 54.35.15

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ г. ТЕМИРТАУ

ТЕМІРТАУ ҚАЛАСЫ АУМАҒЫНЫҢ ТӨРТТІК ШӨГІНДІЛЕРІНІҢ ФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ГРАНУЛОМЕТРИЯЛЫҚ ҚҰРАМНЫҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

INFLUENCE OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF QUATERNARY DEPOSITS: A CASE STUDY FROM TEMIRTAU

Д.И. Вдовкина[1], **М.В. Пономарева**[2*], **Е.В. Пономарева**[2]
[1]АО «QARMET», г. Сарань, Казахстан
[2]НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова», г. Караганда, Казахстан
*Автор-корреспондент: Пономарева Марина Викторовна, e-mail: mv_ponomareva@mail.ru

Ключевые слова:
четвертичные отложения, грунты, физические свойства грунтов, инженерно-геологические изыскания, глинистая фракция, корреляционный анализ, пористость, естественная влажность.

АННОТАЦИЯ
В условиях активного развития строительной отрасли Казахстана возрастает необходимость инженерно-геологических исследований, направленных на оценку свойств грунтов, выступающих в качестве оснований зданий и сооружений. Основаниями зданий и сооружений служит преимущественно комплекс четвертичных отложений, который характеризуется высокой литологической и фациальной неоднородностью. Важным параметром, оказывающим влияние на физические свойства горных пород, является их гранулометрический состав. По результатам инженерно-геологических изысканий в г. Темиртау было проведено рекогносцировочное обследование территории, пробурено 144 скважины глубиной до 15 м, замерен уровень грунтовых вод, отобрано 115 проб грунта и определены их физические характеристики в лаборатории. По данным лабораторных исследований был проведен корреляционный анализ, который показал наличие устойчивых зависимостей между влажностью и содержанием частиц размером менее 0.05 мм (R^2 = 0.75), а также между числом пластичности и содержанием глинистой фракции (R^2 = 0.52). Выявленные закономерности подтверждают ключевую роль гранулометрического состава в формировании гидрофизических и механических характеристик грунтов и подчёркивают его значимость для инженерно-геологической оценки и обоснования проектных решений.

Түйінді сөздер:
төрттік шөгінділер, топырақтар, топырақтың физикалық қасиеттері,

ТҮЙІНДЕМЕ
Қазақстанның құрылыс саласының белсенді дамуы жағдайында ғимараттар мен құрылыстардың негізі ретінде әрекет ететін топырақтың қасиеттерін бағалауға бағытталған инженерлік-геоло-

© 2026 **Д.И. Вдовкина, М.В. Пономарева, Е.В. Пономарева**
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/

инженерлік-геологиялық зерттеулер, саз фракциясы, корреляциялық талдау, кеуектілік, табиғи ылғалдылық

гиялық зерттеулердің қажеттілігі артып келеді. Ғимараттар мен құрылыстардың іргетасы негізінен литологиялық және фациальды әртектілікпен сипатталатын төрттік шөгінділер кешені болып табылады. Тау жыныстарының физикалық қасиеттеріне әсер ететін маңызды параметр олардың гранулометриялық құрамы болып табылады. Инженерлік-геологиялық зерттеулердің нәтижелері бойынша Теміртау қаласында аумақты барлау жұмыстары жүргізілді, тереңдігі 15 м-ге дейінгі 144 ұңғыма бұрғыланды, жер асты суларының деңгейі өлшенді, 115 топырақ сынамасы алынды және зертханада олардың физикалық сипаттамалары анықталды. Зертханалық зерттеулерге сәйкес ылғалдылық пен бөлшектердің мөлшері 0.05 мм-ден аз ($R^2 = 0.75$), сондай-ақ икемділік саны мен саз фракциясының құрамы ($R^2 = 0.52$) арасында тұрақты тәуелділіктердің болуын көрсететін корреляциялық талдау жүргізілді. Анықталған заңдылықтар топырақтың гидрофизикалық және механикалық сипаттамаларын қалыптастырудағы гранулометриялық құрамның негізгі рөлін растайды және оның инженерлік-геологиялық бағалау мен жобалық шешімдерді негіздеу үшін маңыздылығын көрсетеді.

Keywords:
Quaternary deposits, soils, physical properties of soils, geotechnical survey, clay particle, correlation analysis, porosity, water content

ABSTRACT

In the context of the active development of the construction industry in Kazakhstan, there is a growing need for geotechnical investigation aimed at assessing the properties of soils serving as foundations for buildings and structures. The bases of constructions are predominantly composed of Quaternary deposits, which are characterized by high lithological and facies heterogeneity. One of the key parameters influencing the physical properties of soils is their particle size distribution. Based on the geotechnical survey in Temirtau city, a reconnaissance study of the territory was conducted, 144 wells up to 15 m deep were drilled, the groundwater level was measured, 115 soil samples were taken and their physical characteristics were determined in the laboratory. Using the laboratory data, a correlation analysis was performed, revealing strong relationships between water content and the fraction of particles smaller than 0.05 mm ($R^2 = 0.75$), as well as between the plasticity index and clay particle content ($R^2 = 0.52$). The identified correlations confirm the key role of particle size distribution in shaping the hydro-physical and mechanical properties of soils and emphasize its importance for engineering-geological assessment and the justification of design solutions.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях активного роста научно-технического прогресса значительно усиливается антропогенное воздействие на природную среду. Хозяйственная и промышленная деятельность человека активно изменяют поверхностную часть земной коры, зачастую в большей степени, чем под влиянием природных процессов. Это интенсивное воздействие человека на геологическую среду делает необходимым изучение инженерно-геологических условий для урбанизированных и техногенно-нагруженных территорий, а также прогнозирование изменений, которые могут произойти под воздействием человеческой деятельности на протяжении длительного времени (Tamasa et al., 2024). Под инженерно-геологическими условиями понимаются существующие в данное время особенности геологического строения территории, состава и свойства горных пород, геологических процессов, рельефа и подземных вод (Veress, 2021).

В то же время развитие строительной отрасли требует проведения региональных инженерно-геологических исследований, направленных на обоснование строительства объектов промышленного и гражданского назначения. Инженерно-геологические работы, проводившиеся на территории Карагандинской области в основном, охватывали небольшие участки, связанные со строительством городов, рабочих поселков и промышленных предприятий. При этом значительная часть территории остается практически не изученной с инженерно-геологической точки зрения.

Важным этапом в проектировании зданий и сооружений является инженерно-геологические изыскания будущего участка строительства, целью которых является комплексное изучение геологических и гидрогеологических условий территории, определение физико-механических и специфических свойств грунтов (Arif et.al., 2019). Наиболее распространенным основанием для фундаментов зданий и сооружений являются четвертичные отложения, образованные в результате физического разрушения и переотложения экзогенными силами (Xia, Liu & Zhang). Они покрывают маломощным чехлом почти всю территорию города Караганды, за исключением вершин сопок. Вместо правильного параллельного напластования далеко прослеживающихся слоев, им свойственна сильная фациальная изменчивость, литологическая пестрота в плане и залегание в виде сложных линзовидных тел.

В условиях столь высокой литологической и генетической неоднородности особенно важным становится анализ гранулометрического состава, поскольку именно он позволяет установить текстурные особенности пород, проследить тенденции осадочного процесса и оценить инженерно-геологические свойства грунтов (Bolliger, Schlunegger & McArdell, 2024). Гранулометрический состав является важным седиментологическим параметром, представляющим соб ой относительное содержание зерен различных размеров в осадках и горных породах (Luna, Araujo & Varona-Gonzales, 2024). Частицы близкие по размерам составляют фракции. Соотношение частиц той или иной фракции является важным критерием для классификации грунтов (Cao, et al., 2024). Размер частиц, слагающих грунты, может изменяться от долей микрона до десятков сантиметров. Изменение размеров слагающих грунты элементов в столь широких пределах будет особенно сильно сказываться на свойствах дисперсных грунтов. К гравийной фракции относятся частицы крупнее 2 мм. Они практически не обладают молекулярной влагоемкостью и капиллярным поднятием воды, характеризуются высокой водопроницаемостью. Частицы песчаной фракции имеют размер от 2 до 0.05мм и обладают молекулярной влагоемкостью и капиллярным поднятием воды. К глинистой фракции относятся частицы размером менее 0.001 мм, которые по своим свойствам близки к коллоидам и, в частности, в суспензии обладают броуновским движением (Zhang, Liu & Wang, 2024). Частицы пылеватой фракции имеют размер от 0.05 до 0.001 мм и свойствами коллоидных систем не обладают. Они занимают промежуточное положение между глинистой и песчаной фракциями и по свойствам более близки к песчаной фракции, чем к глинистой (Goczewska-Langer, et al., 2023).

Определение таких параметров, как крупность, сортировка и округлость зерен, играет ключевую роль в реконструкции условий осадконакопления и миграции осадочного материала, а также способствует уточнению генезиса пород (Dembovetsky A., Tyugai Z. & Shein E, 2024). Кроме того, гранулометрический состав тесно связан с физико-механическими свойствами грунтов, что имеет практическое значение при обосновании строительных решений.

Несмотря на широкое распространение четвертичных отложений, их физико-механические свойства могут значительно варьироваться в зависимости от различных факторов, одним из которых является гранулометрический состав (Li et al., 2024).

Исследование гранулометрического состава показало, что такие свойства горных пород как естественная влажность, плотность, пористость (Gorączko and Topoliński, 2020), пластичность (Jyothirmayi, Gnanananda & Suresh), размер частиц (Ueda, Matsushima & Yamada, 2011) и их форма (Azema, Estrada & Radjai, 2012) имеют ключевое значение для понимания их механических свойств (Dill, 2022; Wang et al., 2013), которые, в свою очередь, влияют на устойчивость и несущую способность фундаментов. Из проведенных исследований понятно, что размер и форма частиц грунта отражают историю формирования зерен – химические процессы определяют размер и форму глинистых пород, а механические – песков и гравия (Wang, Li, Li & Tang, 2021). Угол сопротивления сдвигу увеличивается с увеличением среднего диаметра частиц и содержания гравия, в то время как сила сцепление в большинстве случаев уменьшается (Nguyen, Pham & Truong, 2022). Понимание этой взаимосвязи имеет важное значение для обеспечения надежности и безопасности строительных объектов, особенно в условиях ограниченного количества лабораторных испытаний, которые зачастую проводятся в минимальном объеме с целью экономии денежных ресурсов (Cai & Yu, 2016). Недостаточное количество данных о гранулометрическом составе, может привести к неверной классификации грунтов, и как следствие – неточные расчеты и ошибки в проектировании (Alekseev & Malyshev, 2025).

Таким образом, всестороннее изучение взаимосвязи между гранулометрическим составом и физико-механическими свойствами четвертичных отложений позволит не только правильно оценить инженерно-геологические условия, но и более точно прогнозировать поведение грунтов под нагрузкой, что особенно важно для проектирования и строительства надежных и долговечных зданий и сооружений.

В связи с этим, целью данного исследования является изучение влияния гранулометрического состава на физические свойства четвертичных отложений на примере объекта инженерно-геологических изысканий в г. Темиртау.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведения инженерно-геологических изысканий, на объекте исследования в г. Темиртау были проведены следующие работы:

- пробурено 144 скважины, глубиной от 7 до 15 м;
- отрыто 37 шурфов глубиной от 3.1 до 5.0 м;
- замерен уровень грунтовых вод (2.6 – 8.0 м);
- произведен отбор образцов грунта;
- проведено 115 лабораторных испытаний проб грунта для определения физико-механических свойств.

По геоморфологическому строению исследуемая местность представляет собою частично мелкосопочный рельеф, частично поверхность древних террас реки Нура, прислоненных к мелкосопочнику. Следов свежей эрозионной деятельности в виде рытвин и оврагов не зарегистрировано.

Буровыми скважинами на разных глубинах были вскрыты грунтовые воды. По однодневным замерам уровень грунтовых вод в повышенной части рельефа был зафиксирован на глубине 8-5 м от поверхности. Ниже по склону уровень грунтовых вод повышается и в самой пониженной части исследуемой площадки склона глубина залегания грунтовых вод составила 2.6 – 4.0 м. Падение зеркала грунтовых вод на северо-восток соответствует общему падению рельефа. Водовмещающими породами здесь являются пески и супеси современных делювиальных отложений, а также глины и суглинки древнеделювиальных и элювиальных образований. Последние содержат воду в тонких песчаных прослоях, в линзах и карманах песков и супесей, а также в местах скопления щебневого и

обломочного материала. В глинах и суглинках вода циркулирует по тончайшим трещинам, поэтому водоотдача их очень мала. Этим объясняется то явление, что в скважинах, расположенных в местах распространения глинистых отложений, уровень грунтовых вод часто устанавливается много часов спустя после окончания бурения. Все вскрытые воды имеют между собой гидравлическую связь, хотя местами она очень слабая. Тем не менее, все эти воды составляют один бассейн с общим уровнем. Относительным водоупором здесь служат те же элювиальные и делювиальные глины и суглинки. Питание грунтовых вод происходит за счет атмосферных осадков, поэтому уровень их подвержен колебаниям в зависимости от времени года и количества выпадающих осадков.

На основании изучения данных буровых и шурфовых выработок установлено, что верхняя часть разреза на ограниченной территории сложена насыпными грунтами, которые представлены супесями и суглинками с включениями щебня (tQ_4). Мощность слоя составляет до 0,9 м. На остальной территории с поверхности залегает растительный слой мощностью 0,2-0,6 м (Q_2pd). Ниже залегают отложения современного делювия с пестрым литологическим составом. Они представлены преимущественно тяжелыми пылеватыми суглинками, реже глинами коричневых цветов с налетами и мелкими скоплениями солей. К подошве склона, в составе современного делювия преобладают мелкозернистые глинистые пески, местами без резкой границы, переходящие в супеси, с прослоями и линзами суглинков и глин. Часто имеются включения щебня из кристаллических пород разной степени выветрелости (Q_2d). Мощность современного делювия по разрезам выработок колеблется от 0.10 до 6.6 м. Под современными делювиальными отложениями залегает толща древнего делювия, которая местами неотделима от элювия кристаллических пород, поскольку делювий состоит из обломков этих же пород. Она представлена в основном глинами, реже суглинками, преимущественно красновато-бурых цветов с неравномерным включением несортированного щебня и крупных обломков и глыб кристаллических пород в разной степени выветрелости от крепких кристаллических до рыхлых (Q_1d+el). Максимальная мощность этих отложений по разрезам скважин 13.60 м. В некоторых местах представлялось возможным выделить под древней делювиальной толщей элювий кристаллических пород. Последний представлен красно-бурыми, местами зеленовато-серыми глинами. Делювиальные глины очень плотные, с частыми гнездами рухляка, местами с включением кристаллического гипса в виде отдельных друз и скоплений. Мощность их, пройденная скважинами, колеблется в пределах 0.50 – 6.0 м.

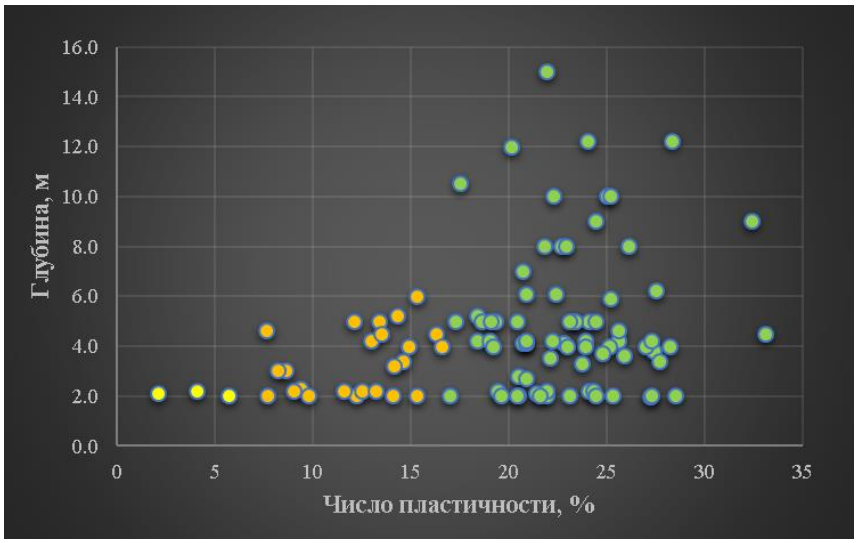
Образцы грунтов, отобранные при проведении инженерно-геологических изысканий представлены различными типами глинистых грунтов, среди которых преобладают пылеватые глины, в меньшей степени пылеватые и песчанистые суглинки, единично встречаются супеси с включениями крупнообломочного материала. В таблице 1 представлены нормативные значения следующих физических характеристик грунтов: естественная влажность (W), плотность грунта (ρ), плотность частиц грунта (ρ_s), пористость (e), число пластичности (I_P), показатель текучести (I_L).

Таблица 1. Нормативные значения показателей физико-механических свойств грунтов

Тип грунта	W, %	ρ, г/см³	ρ_s, г/см³	e, %	I_P, %	I_L, д.е.
Суглинок тяжелый песчанистый	15.16	1.95	2.71	36.86	10.74	<0 – 0.41
Суглинок легкий пылеватый	24.68	1.88	2.74	44.92	14.18	<0 – 0.45
Глина легкая пылеватая	27.14	1.88	2.76	46.28	23.17	<0 – 0.25
Супесь песчанистая	6.93	1.97	2.70	31.60	3.97	<0
Примечание – составлено авторами						

Для выявления тенденций изменения свойств четвертичных грунтов в пределах исследуемой площадки по результатам лабораторных испытаний грунтов были построены графические зависимости, которые легли в основу анализа структурной неоднородности и генетических особенностей четвертичных отложений исследуемой территории.

На рисунке 1 представлена диаграмма распределения типа грунтов в зависимости от глубины.



Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 1. Характер изменения числа пластичности по глубине

Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

Анализируя данную зависимость, можно сделать следующие выводы:

- супеси и суглинки залегают преимущественно в поверхностных горизонтах — до 4.5 м, что типично для отложений делювиального и пролювиального происхождения;

- глины наблюдаются в широком интервале глубин — от 2 до 15 м, что говорит об их более глубинном залегании и значительной мощности слоя;

- в пределах интервала глубин от 2 до 4 м встречаются все три типа грунтов, что указывает на резкую фациальную изменчивость отложений и неустойчивость литологического строения, характерную для четвертичных образований.

Несмотря на общее увеличение глубины при переходе к более пластичным грунтам, чёткой линейной зависимости между глубиной и числом пластичности не наблюдается. Это подтверждает сложную стратиграфию и линзовидное залегание четвертичных отложений исследуемой территории.

На рисунке 2 представлена диаграмма зависимости содержания глинистых частиц в зависимости от глубины. Анализируя диаграмму, можно сделать вывод о вертикальной изменчивости грунтов:

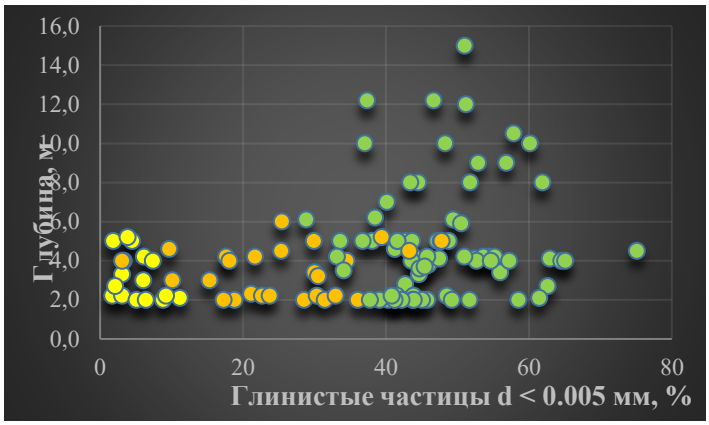
- на глубине до 4–5 м встречаются как малоглинистые (5–20 %), так и среднеглинистые грунты;

- на глубине от 6 до 14 м доминируют глины с содержанием глинистых частиц 40–70 %.

Это говорит о неоднородности разреза по вертикали, типичной для осадочных отложений, сформированных в различных условиях осадконакопления. Также наблюдается латеральная изменчивость: в разных точках бурения скважин на одной

глубине одновременно залегают грунты разного типа (супеси, суглинки и глины) и текстуры (содержание глинистых частиц изменяется от 10 до 50 %). Такое распределение показывает неравномерность осадконакопления по площади, т.е. латеральную фациальную пестроту.

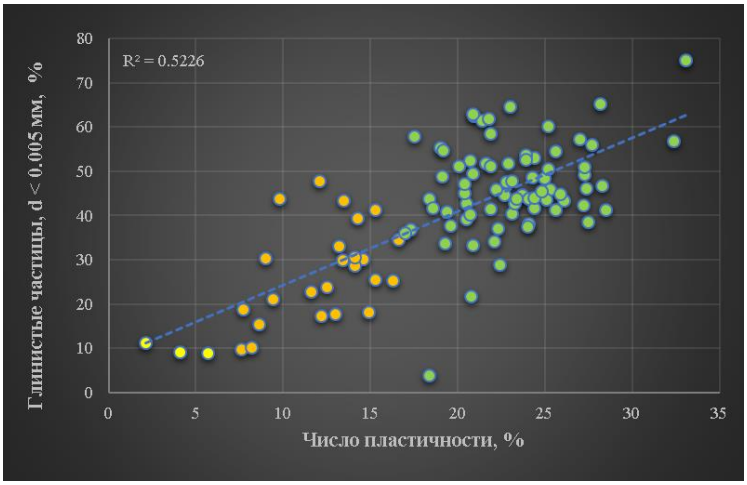
На рис. 3 представлена диаграмма зависимости между числом пластичности и содержанием глинистых частиц. Анализ показывает наличие положительной корреляции между этими параметрами (R^2 = 0.5226), что подтверждает взаимосвязь между пластичными свойствами грунта и содержанием глинистых частиц



Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 2. Содержание глинистых частиц в зависимости от глубины
Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

Из приведенной диаграммы видно, что супеси группируются в левом нижнем углу диаграммы: низкое число пластичности (3–10 %) и содержание глинистых частиц менее 20%; суглинки располагаются в средней зоне по обоим параметрам; глины доминируют при содержании глинистых частиц более 35 % и числе пластичности более 18–20 %. Исходя из этого можно сделать вывод, что с увеличением доли глинистых фракций наблюдается рост числа пластичности, особенно отчётливо выраженный в суглинках и глинах.

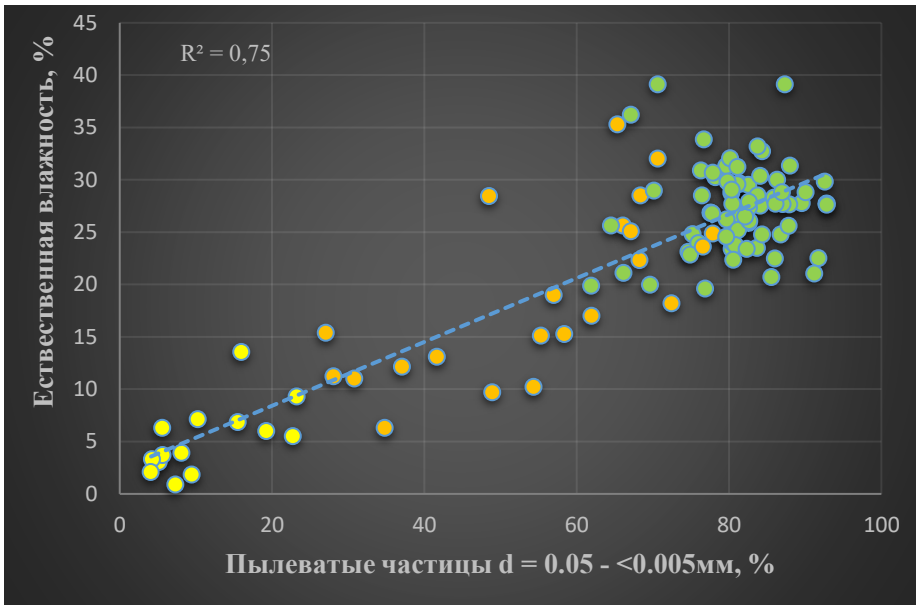


Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 3. Связь между числом пластичности и глинистыми частицами
Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

На рис. 4 представлена зависимость естественной влажности от содержания пылеватых частиц. Диаграмма демонстрирует чёткую положительную корреляцию между параметрами ($R^2 = 0.75$). На графике видно, что глины с естественной влажностью от 20 до 40 % обладают высоким содержанием мелкодисперсной фракции (60–90 %). Высокая влажность объясняется большой удельной поверхностью и капиллярной активностью пылевато-глинистых частиц. Супеси и суглинки обладают более низким содержанием пылеватых частиц (до 40 %) и, соответственно, меньшим значением естественной влажностью (до 15 %), что соответствует их более дренированному и менее водоудерживающему характеру.

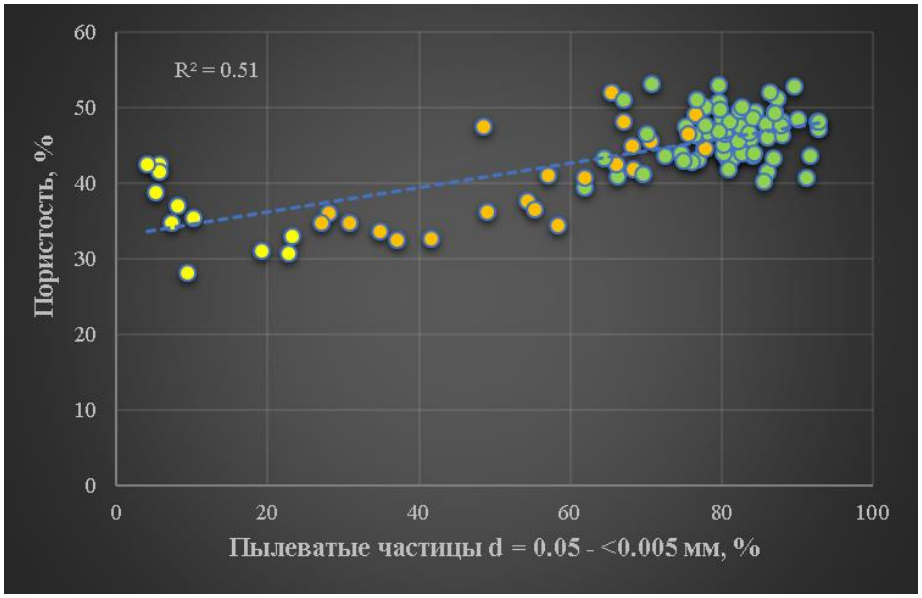
Анализируя данную зависимость, можно сделать вывод, что увеличение доли пылеватой фракций сопровождается ростом влажности, особенно выраженное в глинистых и пылеватых грунтах. Это обуславливается увеличением дисперсности грунтов, которое приводит к увеличению количества связей за счет межмолекулярного взаимодействия между частицами глинистых минералов, которые стремятся сохранить структуру грунта в состоянии равновесия.



Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 4. Связь между влажностью и содержанием пылеватых частиц
Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

На рис. 5 приведена зависимость между пористостью и содержанием пылеватых частиц. Диаграмма демонстрирует умеренную положительную корреляцию между параметрами ($R^2 = 0.51$), что указывает на тенденцию увеличения пористости с ростом доли мелкодисперсной фракции. Супеси имеют низкое содержание пылеватых частиц (<40 %) и высокую вариабельность пористости (от 30 до 45 %), вероятно обусловленную структурой и влиянием крупной фракции. Суглинки и глины в большинстве случаев содержат более 60 % пылеватых частиц и демонстрируют повышенную пористость (до 50–55 %). Это объясняется тем, что увеличение доли мелких частиц приводит к увеличению общей удельной поверхности, которая способствует удержанию влаги и образованию микропор.



Обозначения: желтый – супесь, оранжевый – суглинок, зеленый – глина

Рисунок 5. Связь между пористостью и содержанием пылеватых частиц

Примечание – составлено авторами (Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В.2025)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе инженерно-геологических изысканий на объекте исследований города Темиртау было пробурено 144 скважины глубиной до 15 м, отобрано 115 проб грунта, выполнены лабораторные исследования, а также произведены замеры уровня грунтовых вод. Полученные результаты легли в основу оценки физических характеристик четвертичных отложений и выявления закономерностей с их гранулометрическом составом.

На основе данных лабораторных исследований были построены корреляционные зависимости, позволившие выделить устойчивые связи между рядом параметров. Так, выявлена высокая степень корреляции между влажностью и содержанием частиц размером менее 0.05 мм (R^2 = 0.75), а также между числом пластичности и содержанием глинистой фракции (R^2 = 0.73). Эти результаты подтверждают значительное влияние тонкодисперсной фракции на водоудерживающие свойства и консистенцию грунтов.

Анализ распределения типов грунтов по глубине (рисунок 1) показал, что глины залегают на различных глубинах и сопровождаются чередованием супесей и суглинков, что указывает на фациальную изменчивость отложений. Выявлены признаки сложной стратиграфии и неоднородного осадконакопления, характерного для четвертичных отложений делювиального происхождения.

Диаграмма зависимости содержания глинистых частиц от глубины (рис. 2) демонстрирует как вертикальную, так и латеральную изменчивость гранулометрического состава. Это указывает на неравномерные условия осадконакопления и структурную неоднородность геологического разреза. Связь между пористостью и содержанием частиц менее 0,05 мм (R^2 = 0.71) подтверждает влияние тонкодисперсной фракции на структурные характеристики грунта.

Следует отметить возможные ограничения: выборка охватывает лишь до 15 м глубины и ограничена территорией участка строительства. При экстраполяции результатов на иные регионы или более глубокие горизонты требуется дополнительная верификация.

Тем не менее, данные исследования обладают высокой прикладной значимостью. Они могут служить базой для дальнейших исследований, направленных на уточнение моделей осадконакопления и прогноза инженерно-геологических условий в городской среде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Тип грунта коррелирует с гранулометрическим составом и глубиной залегания. Супеси и суглинки преимущественно приурочены к верхним горизонтам разреза (до 4.5 м), в то время как глины залегают на большей глубине, формируя более мощные толщи. Наблюдается высокая фациальная изменчивость, как по вертикали, так и по площади, что указывает на сложную историю осадконакопления и линзовидное залегание слоёв.

2) Существует устойчивая положительная корреляция между числом пластичности и содержанием глинистых частиц ($R^2 = 0.52$), что подтверждает физическую зависимость между минеральным составом и пластичными свойствами грунтов.

3) Естественная влажность тесно связана с содержанием пылеватой фракций (0.05–<0.005 мм) – коэффициент детерминации достигает $R^2 = 0.75$, что указывает на высокую степень влияния гранулометрического состава на гидрофизические свойства грунтов. Мелкодисперсные частицы обладают высокой удельной поверхностью и капиллярной активностью, способствуя накоплению влаги.

4) Пористость также демонстрирует тенденцию увеличения с ростом содержания пылеватых частиц, хотя зависимость менее выражена ($R^2 = 0.51$). Это объясняется формированием в мелкодисперсных грунтах микропористой структуры, способной удерживать как влагу, так и воздух в порах.

Научная новизна проведённого исследования заключается в систематизации данных по гранулометрическому составу и физическим характеристикам грунтов на территории города Темиртау, а также в установлении количественных связей между этими параметрами. Полученные зависимости могут быть использованы для предварительной оценки инженерно-геологических свойств грунтов при отсутствии лабораторных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Azema E., Estrada N., Radjai F. (2012). Nonlinear effects of particle shape angularity in sheared granular media. Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics, 86, 041301. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.86.041301

Alekseev A., Malyshev V. (2025). Mineralogy and geochemistry of granulometric fractions as a tool for studying transformations of the solid phase of soils. Lomonosov Soil Science Journal, 80(1), 61–70. https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2025-80-1-61-70

Arif H., Mehedi H., Islam R., Alim A. (2019). Prediction of Compaction Parameters of Soil using Support Vector Regression // Cur Trends Civil and Struct Engineering..№1. P.1-7. (in English).

Bolliger D., Schlunegger F., McArdell B.W. (2024). Comparison of debris flow observations, including fine-sediment grain size and composition and runout model results, at Illgraben, Swiss Alps. Natural Hazards and Earth System Sciences, 24, 1035–1049. https://doi.org/10.5194/nhess-24-1035-2024 NHESS

Cai Y., Yu J. (2016). Engineering geological environment comprehensive evaluation with intuitionistic fuzzy information // Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. №5. P. 2705-2711. (in English).

Dembovetsky A., Tyugai Z., Shein E. (2024). Granulometric composition of soils: history, development of methods, current state and prospects. Lomonosov Soil Science Journal, 79(4), 7–13. https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-4-7-13

Dill H.G. (2022). Trends and Composition—A Sedimentological-Chemical-Mineralogical Approach to Constrain the Origin of Quaternary Deposits and Landforms—From a Review to a Manual. Geosciences, 12(1):24. https://doi.org/10.3390/geosciences12010024 Frontiers+4MDPI+4Frontiers+4

Goczewska-Langer W., Gumula-Kawecka A, Jaworska-Szulc B, Angulo-Jaramillo R., Szymkiewicz A. (2023). Permeability of sandy soils estimated from particle size distribution. Hydrogeology Journal, 31(4), 1123–1138. DOI: https://doi.org/10.1007/s10040-023-02536-w

Gorączko A., Topoliński S. (2020). Particle Size Distribution of Natural Clayey Soils. Geosciences, 10(2), 55. https://doi.org/10.3390/geosciences10020055

Jyothirmayi K.H., Gnanananda T., Suresh K. (2015). Prediction of compaction characteristics of soil using plastic limit. International Journal of Research in Engineering and Technology, 4, 253–256.

Li A., Wang P., Guo X., Ji X., Shen K., Lin L., Yan Z., Yuan L. (2024). Correlation Study on Grain Size Characteristics and Geotechnical Properties of Surface Sediments in Qingdao Offshore Area. Journal of Ocean University of China, 23, 721–730. https://doi.org/10.1007/s11802-024-5421-7

Luna E., Araujo M., Varona-Gonzalez H. (2024). Sediment granulometric parameters of Brazilian Barreta beach. Instituto de Ecologia y Ciencias Ambientales, 12, 56–64.

Nguyen C.H., Pham B.T., Truong N.V. (2022). Particle size distribution and its influence on compressibility and permeability of clayey soils. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 81(10). https://doi.org/10.1007/s10064-022-02801-4

Tamasa S., Arjwech R., Eua-Apiwatch S., Nulay P. (2024). Characterizing Quaternary Terrace Sediments in Gravel Pits using lithology, ERT and IP. Geoheritage, 16. https://doi.org/10.1007/s12371-024-01022-z sciengine.com+6ouci.dntb.gov.ua+6researchgate.net+6

Ueda, T., Matsushima, T. and Yamada, Y. (2011). Effect of particle size ratio and volume fraction on shear strength of binary granular mixture. Granular Matter 13: 731-742.

Veress M. (2021). Development Environments and Factors of Subsidence Dolines. Geosciences, 11(3). https://doi.org/10.3390/geosciences11030513

Wang Y., Li K., Li J., Tang S. (2021). Influence of Soil Particle Size on the Engineering Properties and Microstructure of a Red Clay. Applied Sciences, 11(22), 10887. https://doi.org/10.3390/app112210887.

Wang, J.J., Zhang, H., Tang, S. and Liang, Y. (2013). Effects of particle size distribution on shear strength of accumulation soil // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. № 11. P.1994–1997. (in English).

Xia F., Liu D., Zhang Y. (2024). Characteristics and Environmental Indications of Grain Size and Magnetic Susceptibility of the Late Quaternary Sediments from the Xiyang Tidal Channel, Western South Yellow Sea. Journal of Marine Science and Engineering, 12(5):699. https://doi.org/10.3390/jmse12050699 MDPI

Zhang Y., Liu M., Wang J. (2024). Effects of clay grains on the shear properties of unsaturated loess. Scientific Reports, 14, 14591. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-73413-9

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Вдовкина Дарья Игоревна – магистр, АҚ «QARMET», Сарань қ., Қазақстан
Вдовкина Дарья Игоревна – магистр, АО «QARMET», г. Сарань, Казахстан
Vdovkina Darya Igorevna – Master, JSC «QARMET», Saran, Kazakhstan,
e-mail: daryavdovkina@gmail.com,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7931-9708



Пономарева Марина Викторовна – техника ғылымдарының кандидаты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан
Пономарева Марина Викторовна – кандидат технических наук, Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, г. Караганда, Казахстан
Ponomareva Marina Viktorovna – Candidate of Technical Sciences, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: mv_ponomareva18@mail.ru,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8652-9607



Пономарева Екатерина Вадимовна – PhD дәрежесі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан
Пономарева Екатерина Вадимовна – доктор PhD, Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, г. Караганда, Казахстан
Ponomareva Ekaterina Vadimovna – Doctor PhD, Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: evmussina1992@gmail.com
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1322-6773

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_4
SRSTI 67.09.00

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF FLY ASH AND BLAST FURNACE SLAG FOR THE PRODUCTION OF GEOPOLYMER BINDERS

ГЕОПОЛИМЕРЛІ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШТАРДЫ ӨНДІРУ ҮШІН ҰШАТЫН КҮЛІ МЕН ДОМНА ПЕШІ ҚОЖЫНЫҢ ӘЛЕУЕТІН БАҒАЛАУ

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЗОЛЫ-УНОСА И ДОМЕННОГО ШЛАКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ

A.N. Zhakanov [1]*, L.B. Aruova [1], K. Korniejenko [2], Zh. Urkinbaeva [1], A. Tleubayeva [1]

[1]L.N. Gumılyov EurasianNational University, Astana, Kazakhstan

[2]Faculty of Materials Engineering and Physics, Cracow University of Technology, Warszawska 24, Kraków, 31-155, Poland, Kraków

*Corresponding author: A.N. Zhakanov, e-mail: zhakanov888@mail.ru

Keywords:
geopolymer binders, fly ash, blast furnace slag, alkaline activation, mechanical properties, regression analysis, cost-effectiveness.

ABSTRACT

This study presents a systematic review of 35 experimental publications (2014–2024) evaluating the potential of Kazakhstani fly ash (FA) and granulated blast furnace slag (GBFS) for the production of geopolymer binders. The chemical and mineralogical composition of raw materials, physical–mechanical properties (compressive strength, density, water absorption, frost resistance), and the influence of alkaline activation parameters (NaOH molarity, water glass modulus, curing temperature) on the formation of N-A-S-H and C-A-S-H gels were summarized and assessed using correlation and linear regression analysis. The results show that FA:GBFS ratios of 40:60–50:50 provide a synergistic effect, allowing compressive strength of 55–60 MPa under mild curing (25–60 °C) and reducing the cost of geopolymer concrete by 45–55% compared to ordinary Portland cement. The study confirms the high technical and economic viability of local industrial by-products for sustainable construction.

Түйінді сөздер:
геополимер байланыстырғыштары, ұшатын күл, домна пешінің шлактары, сілтілі белсендіру, механикалық қасиеттері, регрессиялық талдау, шығын тиімділігі.

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл зерттеу қазақстандық ұшатын күлдің (FA) және гранулан-дырылған домна пеші шлакының (GBFS) геополимер байлаушы-ларын өндіру әлеуетін бағалайтын 35 эксперименттік жарияла-нымға (2014–2024) жүйелі шолу ұсынады. Шикізаттардың химия-лық және минералогиялық құрамы, физикалық-механикалық қасиеттері (сығу беріктігі, тығыздығы, су сіңіру, аязға төзімділік), сондай-ақ сілтілі активация параметрлерінің (NaOH молярлығы, су шыны модулі, қату температурасы) N-A-S-H және C-A-S-H гель-дерінің түзілуіне әсері корреляция мен сызықтық регрессиялық талдау арқылы қорытындыланып, бағаланды. Нәтижелер көрсеткен-

© 2026 **A.N. Zhakanov, L.B. Aruova, K. Korniejenko, Zh. Urkinbaeva, A. Tleubayeva**
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

дей, FA:GBFS қатынастары 40:60–50:50 синергетикалық әсер береді, бұл жұмсақ қаттау кезінде (25–60 °C) 55–60 МПа қысу беріктігін қамтамасыз етеді және геополимерлі бетонның құнын кәдімгі портландцементпен салыстырғанда 45–55 %-ға төмендетеді. Зерттеу жергілікті өнеркәсіптік қосалқы өнімдердің тұрақты құрылыс үшін жоғары техникалық және экономикалық тиімділігін растайды.

Ключевые слова:
геополимерные вяжущие, зола–уноса, доменный шлак, щелочная активация, механические свойства, регрессионный анализ, экономическая эффективность.

АННОТАЦИЯ

В данном исследовании представлен систематический обзор 35 экспериментальных публикаций (2014–2024), оценивающих потенциал казахстанской летучей золы (FA) и гранулированного доменного шлака (GBFS) для производства связующих геополимеров. Химический и минералогический состав сырья, физико-механические свойства (прочность на сжатие, плотность, поглощение воды, морозостойкость) и влияние параметров активации щелочи (молярность NaOH, модуль стекла воды, температура отверждения) на образование гелей N-A-S-H и C-A-S-H были обобщены и оценены с помощью корреляционного и линейного регрессионного анализа. Результаты показывают, что соотношения FA:GBFS 40:60–50:50 обеспечивают синергетический эффект, позволяя сжимать 55–60 МПа при мягком отверждении (25–60 °C) и снижая стоимость геополимерного бетона на 45–55 % по сравнению с обычным портландцементом. Исследование подтверждает высокую техническую и экономическую жизнеспособность местных промышленных побочных продуктов для устойчивого строительства.

INTRODUCTION

The global construction industry faces increasing pressure to reduce CO_2 emissions since cement production accounts for nearly 8% of total anthropogenic output. Alkali-activated aluminosilicate materials (geopolymers) present an environmentally efficient alternative, offering comparable or enhanced mechanical performance with significantly reduced carbon footprint.

Kazakhstan fly ash (class F, ASTM C618) contains high amounts of amorphous SiO_2, while granulated blast furnace slag is rich in reactive CaO phases. Their combined application enhances the formation of N-A-S-H and C-A-S-H gels.

The relevance of this study lies in the lack of complex analyses that simultaneously address the chemical composition of raw materials, mechanical properties of composite systems, activation parameters, structural formation mechanisms, and economic feasibility of using local materials.

The purpose of the study is to systematize the results of research from 2014–2024 and assess the potential of Kazakhstan's fly ash and granulated blast furnace slag for producing geopolymer binders.

Scientific novelty consists in a comprehensive assessment of chemical, mineralogical, physical, mechanical, microstructural, and economic parameters as an integrated system, allowing identification of optimal technological conditions.

To achieve this goal, the study was carried out in several stages:

1. Systematization of scientific sources – analysis of publications of 2014–2024 with experimental data on the composition, strength and hardening conditions of geopolymer materials.

2. Comparative analysis of physicochemical and mechanical properties – assessment of fly ash, granulated slag and their combinations in terms of strength, density, water absorption and frost resistance.

3. Correlation and regression analysis – quantitative assessment of the effect of the composition and parameters of alkaline activation on the strength and economic efficiency of geopolymer concrete.

Stages of research. To achieve this goal, the following was carried out in several consecutive stages:

– Systematization of scientific sources. The search and selection of publications for 2014–2024 in the Scopus, ScienceDirect, Google Scholar and RSCI databases using the keywords based on the following keywords: geopolymer, fly ash, blast furnace slag, alkali activation, sustainability. Articles with experimental data on strength, chemical composition and hardening conditions were included.

– Analysis of physicochemical and mechanical properties. The compositions of fly ash and blast furnace slag, the features of their alkaline activation, as well as the physical and mechanical characteristics of geopolymers (strength, density, water absorption, frost resistance) based on them are compared.

– Construction of a regression model «strength – cost». Based on the literature and calculated data, the equations of dependence of the cost of 1 m³ of concrete on strength, taking into account the prices of components, are determined. The economic indicators of geopolymer and cement concrete are compared.

Systematization of scientific sources by strength, chemical composition and hardening conditions.

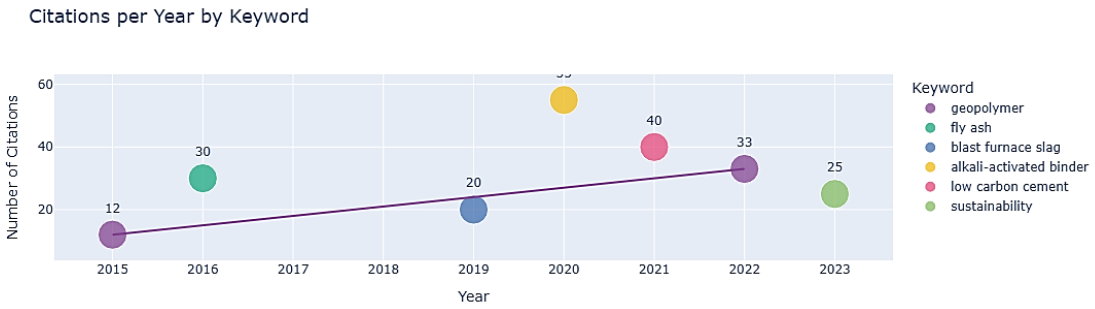


Figure 1. Keyword citation frequency (2014–2024)

Note – compiled by the author

MATERIALS AND METHODS

At the first stage of the study, a targeted analysis of scientific publications on geopolymer binders based on fly ash and granulated blast furnace slag was carried out. The distribution of keyword citations by topic is shown in Figure 1. The main attention is paid to the comparison of data on strength characteristics (compression, bending, modulus of elasticity), chemical composition of raw materials (in particular, SiO_2, Al_2O_3, CaO content), hardening conditions (temperature, time, type and concentration of alkaline activators).

The search was carried out in the Scopus, ScienceDirect, Google Scholar and RSCI databases for 2014–2024. For the convenience of comparing information, classification by main parameters is carried out.

Fly ash, when used in its pure form, requires heating to 60-80 °C to achieve a strength above 35-40 MPa. However, with a sufficient molarity of the alkaline solution (NaOH ≥ 10 M), partial activation is possible at room temperature.

Granulated blast furnace slag, due to its high CaO content, makes it possible to obtain a strength of up to 60–70 MPa already when curing at 25 °C, especially with a high content of the vitreous phase.

The combination of fly ash and granulated blast furnace slag in a ratio of 50:50 or 45:55 provides a synergistic effect: high initial strength (up to 55–60 MPa) and structure stability without mandatory heating.

The concentration of NaOH in the range of 8–10 M, the activator-to-binder ratio of 0.4–0.6, and the addition of water glass (Na_2SiO_3) increase the efficiency of geopolymerization.

At the second stage of the study, a comparative analysis of literature sources was carried out, which presented experimental data on the strength, density, water absorption and frost resistance of geopolymer binders based on fly ash, granulated blast furnace slag and their combinations.

In his work, Taarrini (2014) found that pure fly ash provides a strength of 30–42 MPa when heated to 70 °C, but without heat treatment, such indicators are unattainable. Dhivya and Venkatasubramani (2016) showed that the 50:50 mixture of fly ash and slag at 60–80 °C reaches 58 MPa, and water absorption is reduced to 5–7% due to a decrease in capillary porosity. He, Jie, Zhang, Yu, and Zhang (2020) noted that 100% slag at 85 °C yields up to 60 MPa due to active CaO, which forms a strong C-A-S-H gel. Zawrah, Khattab, Gado, and El Sayed (2021) proved that with an optimal composition ($SiO_2/Al_2O_3 \approx 2.2$) and the right activator, it is possible to obtain 32–38 MPa even at room temperature; slag and Na_2SiO_3 additionally compact the structure. Wang, Wang, Li, Liu, and Wang (2022) found that slag increases the density of the geopolymer to 2300–2400 kg/m³ versus 2200 kg/m³ for a single-ash system. Li, Zhang, Cao, Li, and He (2023) showed that the 45:55 mixture (fly ash, slag) gains 45–55 MPa in 7 days, reaching 77% of the 28-day strength in the first week. Noushini, Castel, and Aldred (2018) established that fly ash–slag can withstand up to F200 without noticeable loss of strength, while only ash loses up to 20% after 100 cycles. Komljenović, Baščarević, and Bradić (2016) proved that with 8–10 M NaOH and the addition of Na_2SiO_3, water absorption is reduced to 5.2%, making the material resistant to external conditions. Azad, Lin, and Cheng (2022) found that slag increases frost resistance due to its compacted microstructure and strong gel bonds. Tleubayeva (2023) demonstrated that the optimization of the composition of fly ash and slag makes it possible to achieve water absorption of <6% and frost resistance of F200 due to the dense structure. Zhang, Cheng, Li, and Xu (2022) showed that the durability and microstructure of fly ash–slag geopolymer concrete are highly dependent on the applied curing regimes. Kumar, Singh, and Roy (2022) established the significant influence of the alkali activator ratio and curing temperature on the strength development of geopolymer concrete. Santos, Pacheco-Torgal, and Jalali (2023) confirmed a substantial reduction in CO_2 emissions through the use of geopolymer concrete compared to ordinary Portland cement. Mehta and Siddique (2023) showed the high resistance of fly ash–slag-based geopolymer composites when exposed to aggressive environments. Gao, Wang, and Chen (2024) proposed a multi-objective optimization model for designing geopolymer mixes balancing strength, cost, and environmental impact.

Table 1. Comparison of physical and mechanical characteristics of geopolymer binders

№	Source	Composition	Strength (MPa)	Density (kg/m³)	Water absorption (%)	Frost resistance
1	Taarrini D., 2014	100:0	30–42	2200	10–12	F100
2	Dhivya S., 2016	50:50	up to 58	2300–2350	5–7	F150–F200
3	He J., 2020	0:100	40–60	2400	<6	F200
4	Zawrah M., 2021	100:0	32–38	2200	8–11	F100
5	Li M., 2023	45:55	45–55	2350	5–6	F150
6	Komljenović M., 2016	70:30	48–54	2300	5.2	–
Note – compiled by the author						

The best physical and mechanical properties are achieved by combining ash and slag in a ratio of 40:60 – 50:50, which allows to achieve high strength (up to 60 MPa), density (up to 2400 kg/m³) and resistance to external influences.

Hardening conditions (temperature, humidity, type of activator) significantly affect the properties of the final product. All of the above formulations are technologically achievable in industrial conditions without the need for autoclaving.

Chemical and mineralogical composition of fly ash and granulated blast furnace slag.

Fly ash: SiO_2 – 45–60%, Al_2O_3 – 20–35%, CaO < 10%, vitreous structure, spherical particles. Forms N-A-S-H gel when activated.

Blast furnace slag: CaO – 35–45%, SiO_2 – 30–40%, Al_2O_3 – 7–15%, MgO – up to 8%, high reactivity. With accelerated strengthening, it forms C-A-S-H gel.

The compressive strength of geopolymers on pure fly ash is limited (~35–40 MPa) without heat treatment. When combined with granulated blast furnace slag and hardened at 25–60 °C, the strength increases to 55–60 MPa and above, even without autoclaving.

The density of the mixture increases due to the active formation of C-A-S-H gel and a decrease in porosity. Optimal values are achieved with an ash-fly ratio: granulated blast furnace slag from 40:60 to 50:50.

At the third stage of the study, the strength of concrete mixtures was analyzed with changes in their cost, and a regression linear analysis of the dependence of strength on cost for geopolymer and Portland cement concrete was carried out. This made it possible to determine which of the materials provides the best efficiency at the same level of strength.

The article provides a detailed regression linear analysis of the relationship between the strength and cost of geopolymer concrete and cement concrete (OPC). The analysis was carried out on two groups of materials with the construction and interpretation of linear models.

Table 2. Geopolymer concrete (according to Taarrini D. – cost of sales of geopolymer compositions in terms of tenge (at the exchange rate of 1 INR ≈ 5.4 KZT)

№	Composition	Cost (KZT/m³)	Strength
1	Mix A	15 390	24
2	Mix B	15 930	30
3	Mix C	16 470	36
4	Mix D	17 280	40
5	Mix E	17 820	42
Note – compiled by the author			

Table 3. Ordinary Portland cement market data of Kazakhstan, approximate

Concrete Class	Strength	Cost
M200	15	17000
M300	25	18500
M350	30	19500
M400	35	21000
M450	40	22500
Note – compiled by the author		

Regresion analysis.

Regression analysis shows:

Geopolymer concrete: CS = 0.0072·Cost − 87.4

OPC concrete: CS = 0.0054·Cost − 76.5

At equal cost increase, geopolymer concrete gains more strength (7.2 vs 5.4 MPa per 1000 KZT).

Economic analysis.

Table 4. Cost of raw materials in Kazakhstan

Component	Price, tenge/ton	Note
Fly ash	500-1000	Including transport
Granulated slag	2000-3500	Including transport
NaOH (100%)	150 000-180 000	Technical
Liquid glass (Na_2SiO_3)	45 000-60 000	Module 2.5-3.0
Portland cement M500	70 000-85 000	RK Production
Sand	3 000-5 000	Local
Macadam	8 000-12 000	Fraction 5-20 mm
Note – compiled by the author		

Fly ash and slag significantly reduce production cost. Geopolymer concrete (40 MPa) costs ~21,360 KZT/m³, while OPC M400 costs ~44,400 KZT/m³. Savings: 45–55%.

CONCLUSION

The analysis confirms that fly ash and granulated blast furnace slag of Kazakhstan are highly reactive and can be effectively used to produce geopolymer binders. The optimal ratio of components (40:60-50:50) ensures the formation of strong N-A-S-H and C-A-S-H gels, which leads to an increase in strength up to 55-60 MPa, a decrease in water absorption and an increase in the density of the material. The main factors affecting the properties of geopolymers are the chemical composition of the raw material, the concentration of NaOH, the module of water glass and the curing conditions. The use of correlation and regression analysis made it possible to quantify the contribution of each parameter to the formation of strength. An economic assessment has shown that the use of local raw materials reduces the cost of geopolymer concrete by 45-55% compared to cement materials. Thus, Kazakhstan's fly ash and blast furnace slag have a high potential for industrial applications, providing both technical and environmental benefits.

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

FUNDING: The work was carried out within the framework of the project of program-targeted financing for 2023-2025 BR21882278 «Creation of a construction and technical engineering center for the provision of a full cycle of accredited services in the construction, road construction sector of the Republic of Kazakhstan».

STATEMENT ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES: Artificial intelligence (AI) tools were not used at any stage of the manuscript preparation.

REFERENCES

Taarrini, D. (2014). «Development and performance of geopolymer binders based on industrial by-products.»*Construction and Building Materials*, 61, 276–283. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.040

Dhivya, S., & Venkatasubramani, R. (2016). «Effect of curing conditions on strength properties of fly ash–slag based geopolymer concrete.»*Construction and Building Materials*, 120, 22–27. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.089

He, J., Jie, Y., Zhang, J., Yu, Y., & Zhang, G. (2020). «Synthesis and characterization of red mud and fly ash-based geopolymer mortars.»*Construction and Building Materials*, 154, 257–265.https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.190

Zawrah, M. F. A., Khattab, R. M., Gado, R. A., & El Sayed, N. H. (2021). «Influence of alkaline silicate activator on the density, porosity, and water absorption of fly ash-based geopolymers.»*Materials*, 16(12), 4232. https://doi.org/10.3390/ma16124232

Wang, S., Wang, Y., Li, Q., Liu, X., & Wang, X. (2022). «Mechanical behavior and microstructure of geopolymer concrete incorporating fly ash and slag.»*Materials*, 15(4), 1504. https://doi.org/10.3390/ma15041504

Li, M., Zhang, Z., Cao, K., Li, H., & He, C. (2023). «Prediction of compressive strength of fly ash–slag based geopolymer paste based on multi-optimized artificial neural network.»*Materials*, 16(3), 1090. https://doi.org/10.3390/ma16031090

Noushini, A., Castel, A., & Aldred, J. (2018). «Suitability of heat-cured low-calcium fly ash-based geopolymer concrete for structural applications.»*Magazine of Concrete Research*, 70(5), 213–223. https://doi.org/10.1680/jmacr.16.00464

Komljenović, M., Baščarević, Z., & Bradić, V. (2016). «Mechanical and microstructural properties of alkali-activated fly ash geopolymers.»*Journal of Hazardous Materials*, 181(1–3), 35–42. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.064

Md Azad, A. M., Lin, K. L., & Cheng, A. (2022). «Effect of curing temperature on mechanical performance and microstructure of fly ash-slag based geopolymers.»*Journal of Building Engineering*, 45, 103501. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103501

Tleubayeva, A. K. (2023). «Optimization of geopolymer binders based on industrial waste.»*Polymers*, 15(2), 295. https://doi.org/10.3390/polym15020295

Zhang, L., Cheng, Y., Li, Y., & Xu, H. (2022). Durability and microstructure of fly ash–slag blended geopolymer concrete under different curing regimes. Construction and Building Materials, 326, 126904. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126904

Kumar, R., Singh, M., & Roy, S. (2022). Effect of alkali activator ratio and curing temperature on fly ash–GGBS based geopolymer concrete. Materials Today: Proceedings, 62, 1665–1673. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.225

Santos, A., Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2023). CO_2 emission reduction potential of geopolymer concrete: A comparative lifecycle assessment. Journal of Cleaner Production, 412, 137052. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137052

Mehta, A., & Siddique, R. (2023). Performance of geopolymer concrete incorporating fly ash and slag in aggressive environments. Construction and Building Materials, 370, 130590.https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130590

Gao, X., Wang, Y., & Chen, H. (2024). Optimization of geopolymer mix design using multi-objective modeling of strength, cost, and environmental impact. Materialy, 17(1), 121. https://doi.org/10.3390/ma17010121

Авторлар туралы мәліметтер
Информацияобавторах
Information about authors



Жаканов Алибек Нуржанович – PhD докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

Жаканов Алибек Нуржанович – PhD докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Zhakanov Alibek Nurzhanovich – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: zhakanov888@mail.ru,

ORCID: https://orcid.org/0000–0002–8747–3788



Аруова Лязат Боранбаевна – техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
Аруова Лязат Боранбаевна – доктор технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
Aruova Lyazat Boranbaevna – Doctor of Technical Sciences, L.N. Gumılyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: ecoeducation@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7700-0303



Кинга Корниеженко – PhD, Краков технологиялық университеті, Краков қ., Польша
Кинга Корниеженко – PhD, Краковский технологический университет, г. Краков, Польша
Kinga Korniejenko – PhD, Cracow University of Technology, Poland
e-mail: kinga.korniejenko@pk.edu.pl,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8265-3982



Уркинбаева Жузимкул Исаевна – аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
Уркинбаева Жузимкул Исаевна – старший преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
Urkinbaeva Zhuzimkul Isaevna – senior lecturer, L.N.Gumılyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: zhuzim.isina@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-5294-3497



Тлеубаева Ақмарал Кубегеновна – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
Тлеубаева Акмарал Кубегеновна – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
Tleubayeva Akmaral Kubegenovna – candidate of Technical Sciences, L.N. Gumılyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: tleubayeva_ak@enu.kz
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6741-780X

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_5
SRSTI 67.07.11

ARCHITECTURAL MODELING OF PUBLIC SPACES IN THE CITY OF TURKESTAN BASED ON CULTURAL HERITAGE

МӘДЕНИ МҰРА НЕГІЗІНДЕ ТҮРКІСТАН ҚАЛАСЫНДАҒЫ ҚОҒАМДЫҚ КЕҢІСТІКТЕРДІҢ СӘУЛЕТТІК МОДЕЛЬДЕУІ

АРХИТЕКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ В ГОРОДЕ ТУРКЕСТАНЕ НА ОСНОВЕ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

I.I. Ostapenko [1]*, **T.A. Gvizdikova** [1], **Y.R. Sharif** [1], **D.G. Dyussenova** [1], **O.E. Gurskaya** [2]
[1]International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan
[2]«D. Serikbayev East Kazakhstan technical university», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
*Corresponding author: Ostapenko Inna Ivanovna, e-mail: Ostapinna@mail.ru

Keywords:
Architectural modeling, cultural heritage, public spaces, Turkestan, architectural identity, urban planning structure, morphological analysis.

ABSTRACT
The modern development of historical cities in Kazakhstan demands the actualization and necessity of design approaches that combine the principles of preserving cultural heritage with contemporary methods of shaping the urban environment. The aim of the research is to identify and systematize the architectural principles of modeling public spaces in the city of Turkestan based on cultural heritage. The methods include morphological and typological analysis of Turkestan's public spaces, graphic modeling, and comparative study of traditional forms and modern design solutions. The study applies methods of analyzing axial and visual connections, as well as constructing graphic models that reflect the hierarchy of urban architectural dominants.
The results show that architectural modeling of public spaces in Turkestan relies on preserving the cultural and historical code and adapting traditional spatial structures—such as squares, axes, courtyards, and terraces—to modern urban planning conditions. The concept of a spatial and cultural framework of the city is proposed, ensuring continuity of forms and meanings. The research demonstrates that using cultural heritage as a methodological basis for design contributes to the creation of a sustainable and identifiable urban environment that integrates history, culture, and modernity.

Түйінді сөздер:
Сәулеттік модельдеу, мәдени мұра, қоғамдық кеңістіктер, Түркістан, сәулеттік бірегейлік,

ТҮЙІНДЕМЕ
Қазақстанның тарихи қалаларының қазіргі дамуы мәдени мұраны сақтау қағидаттарын және заманауи қала ортасын қалыптастырудың қазіргі әдістерін үйлестіретін жобалық тәсілдерді өзектілендіру мен қолданудың қажеттілігін туындатады. Зерттеудің мақсаты –

© 2026 I.I. Ostapenko, T.A. Gvizdikova, Y.R. Sharif, D.G. Dyussenova, O.E. Gurskaya
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

қалақұрылыстық құрылым, морфологиялық талдау.

мәдени мұра негізінде Түркістан қаласындағы қоғамдық кеңістіктерді сәулеттік модельдеудің қағидаттарын айқындау және жүйелеу. Әдістерге Түркістанның қоғамдық кеңістіктерінің морфологиялық және типологиялық талдауы, графикалық модельдеу және дәстүрлі формалар мен заманауи жобалық шешімдерді салыстырмалы зерттеу кіреді. Зерттеуде осьтік және көру байланыстарын талдау әдістері, сондай-ақ қалалық сәулеттік доминанттардың иерархиясын бейнелейтін графикалық модельдерді құрастыру қолданылды.
Нәтижелер Түркістанның қоғамдық кеңістіктерін сәулеттік модельдеу мәдени-тарихи кодты сақтауға және алаң, ось, аула мен терраса сияқты дәстүрлі кеңістіктік құрылымдарды заманауи қалақұрылыстық жағдайларға бейімдеуге негізделетінін көрсетеді. Қаланың кеңістіктік-мәдени қаңқасы тұжырымдамасы ұсынылды, ол формалар мен мағыналардың сабақтастығын қамтамасыз етеді. Зерттеу көрсеткендей, мәдени мұраны жобалаудың әдіснамалық негізі ретінде пайдалану тарихты, мәдениетті және заманауилықты біріктіретін тұрақты әрі бірегей қала ортасын қалыптастыруға ықпал етеді.

Ключевые слова:
архитектурное моделирование, культурное наследие, общественные пространства, Туркестан, архитектурная идентичность, градостроительная структура, морфологический анализ.

АННОТАЦИЯ

Современное развитие исторических городов Казахстана имеет спрос на актуализацию и необходимость проектных подходов, сочетающих принципы сохранения культурного наследия и современные методы формирования городской среды. Цель исследования – выявление и систематизация архитектурных принципов моделирования общественных пространств города Туркестан на основе культурного наследия. Методы включают морфологический и типологический анализ общественных пространств Туркестана, графическое моделирование и сравнительное изучение традиционных форм и современных проектных решений. Применяются методы анализа осевых и зрительных связей, а также построение графических моделей, отражающие иерархию городских архитектурных доминант. Результаты показывают, что архитектурное моделирование общественных пространств Туркестана опирается на сохранение культурно-исторического кода и адаптацию традиционных пространственных структур, таких как площадь, оси, дворы и террасы – в современных градостроительных условиях. Предложена концепция пространственно-культурного каркаса города, обеспечивающего преемственность форм и смыслов. Исследование демонстрирует, что использование культурного наследия как методологической основы проектирования способствует формированию устойчивой и идентифицируемой городской среды, интегрирующей историю, культуру и современность.

INTRODUCTION

The modern development of historical cities in Kazakhstan is accompanied by active urbanization processes, which necessitate finding a balance between preserving cultural heritage and introducing contemporary urban planning solutions. The relevance of this research lies in the growing interest of both the scientific and professional communities in the issues of architectural identity, the formation of sustainable public spaces, and the reinterpretation of traditional urban principles in the context of modern challenges. In the conditions of intensive urban transformation, it is especially important to preserve the cultural and historical code that shapes the uniqueness and integrity of the architectural image of historical cities. Of particular interest in this context is the city of Turkestan- one of Kazakhstan's most important historical and

spiritual centers, where traditional forms of nomadic architecture, sacred landscapes, and modern urban planning coexist within a unified spatial environment. The city's rapid development in recent years has brought to the forefront the issues of preserving cultural identity and shaping a sustainable spatial structure that reflects the region's historical and cultural specificity (Tanzharykovva & Maulenova, 2024).

The aim of this research is to identify and systematize the architectural principles of modeling public spaces in Turkestan based on cultural heritage. The research objectives include analyzing the morphological and typological structure of Turkestan's public spaces, identifying traditional architectural and spatial archetypes influencing the formation of the urban environment, developing architectural modeling principles based on the synthesis of traditional and modern urban design approaches. The object of the research is the public spaces of the historical city of Turkestan. The subject of the research is the architectural principles and models of forming these spaces in the context of cultural heritage. The methodological framework includes morphological and typological analysis, graphic modeling, comparative study of traditional and modern forms, as well as methods of spatial-semiotic analysis.

The scientific novelty of the research lies in the fact that architectural modeling is considered not only as a design tool but also as a means of identifying and interpreting cultural archetypes that underlie the formation of the urban environment. This approach allows integrating historical and cultural meanings into contemporary architectural design and contributes to the creation of a holistic, identifiable architectural and semiotic system of the city (Saikeneva, 2025).

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

Historical and cultural sources, archival maps, urban planning schemes, and satellite images of the city of Turkestan were used as research materials, along with literary and theoretical works on the traditional architecture of nomadic peoples and contemporary urban development trends. The empirical base was formed by projects for the reconstruction and development of the city, archival plans of Turkestan, satellite imagery, and a comparative analysis of archetypal models of nomadic architecture (Abdrassilova & Danibekova, 2021).

The methodology is based on a combination of morphological and comparative analysis of all available structures, which made it possible to identify key spatial frameworks, interpret them as elements of the cultural code, and determine the principles of synthesizing traditional and modern forms in the public spaces of Turkestan (Carmona, 2010).

Special attention was paid to identifying the stable semantic layers of the urban environment and their role in shaping spatial identity. This approach made it possible to consider public spaces not only as functional elements but also as carriers of cultural meanings that ensure the continuity of architectural traditions in the context of the city's modern development (Saikeneva, 2025).

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE MODERNIZATION OF PUBLIC SPACES

The modernization of public spaces in the city of Turkestan is based on the principles of preserving historical and cultural heritage and integrating it into the contemporary architectural environment. The main goal is not only to renew the physical structure of the urban fabric but also to form a sustainable system of public interactions that reflect the cultural identity of the region. In the process of architectural modeling, three interrelated directions of modernization are considered: spatial-planning, architectural-artistic, and socio-cultural (Hillier & Hanson, 1984).

The spatial-planning direction is associated with restoring the logic of historical routes, visual axes, and traditional compositional centers characteristic of old Turkestan. It aims to ensure continuity of the urban structure while creating modern public spaces (Kurokawa, 1997). Particular importance is given to organizing pedestrian connections, visual perspectives, interaction with sacred sites, and harmonizing development with the natural landscape (Hamidreza, Reza & Kiashari 2018).

The architectural-artistic direction involves reinterpreting traditional forms, ornaments, and structural solutions through the contemporary language of architecture. The use of motifs from folk decorative art, local building materials, and characteristic proportions helps preserve a visual connection with the historical environment and emphasize the city's unique identity (Tihova & Kuleeva, 2020).

The socio-cultural direction of modernization focuses on creating spaces that promote communication, cultural exchange, and the development of local initiatives. Such spaces serve as venues for events, exhibitions, educational and creative programs, forming a lively and dynamic urban environment (Cybajkin, 2024). Special attention is paid to accessibility, inclusivity, and the involvement of local residents in the processes of urban transformation (Figure. 1).

Thus, the modernization of Turkestan's public spaces is not viewed as the destruction or replacement of the historical context but as its consistent development under contemporary conditions. The combination of traditional elements and innovative approaches forms the basis for creating an architectural environment capable of preserving cultural memory while meeting the needs of modern society.

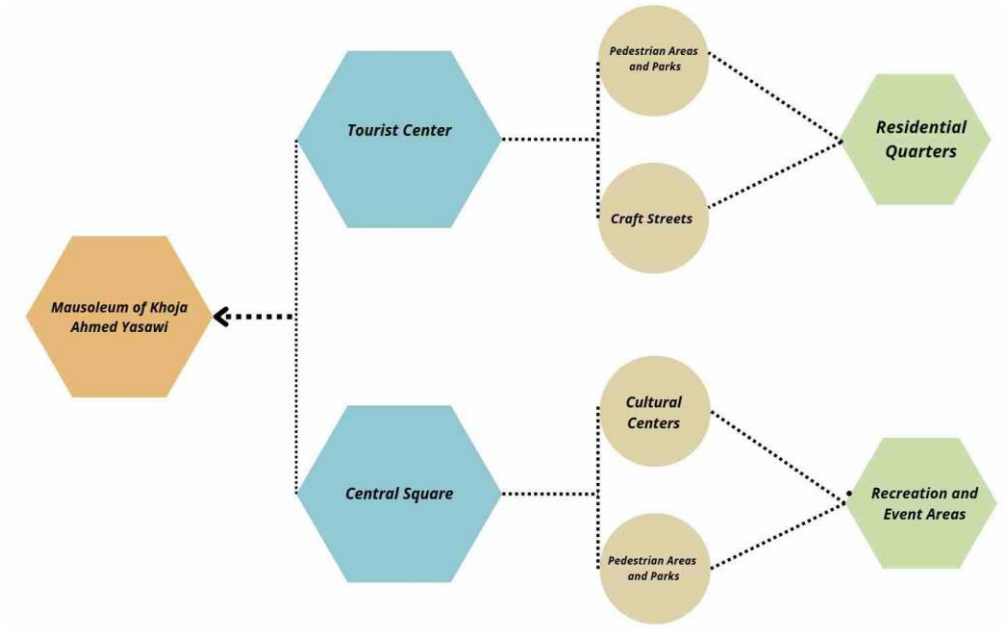


Figure 1. Graph model of public interactions in the urban environment of Turkestan
Note – compiled by the author(s) based on data (Official Information Resource of the Prime Minister of the Republic of Kazakhstan, 2025)

APPLICATION OF ARCHITECTURAL MODELING IN THE PROCESS OF MODERNIZING PUBLIC SPACES

Based on the identified directions of modernization (spatial-planning, architectural-artistic, and socio-cultural), principles of architectural modeling were developed aimed at creating an integrated system of public spaces reflecting the historical and cultural specificity of

the city of Turkestan. The spatial-planning model is based on an analysis of the city's historical connections and territorial structure. The compiled cartographic framework made it possible to identify patterns in the placement of sacred and public sites, the movement routes of pilgrims and tourists, as well as key visual and pedestrian axes connecting the Khoja Ahmed Yasawi Mausoleum with contemporary public zones (Tanzharykovva & Maulenova, 2024; Abdrassilova & Danibekova, 2021).

Based on this analysis, a graph model of interactions was created, reflecting the intensity of flows, points of activity concentration, and nodes of public interaction. This model serves as a tool for forecasting territorial development, allowing the identification of areas where recreational and cultural functions need to be enhanced.

The architectural-artistic model provides for the inclusion of elements of traditional decoration, local building materials, and proportional relationships characteristic of Turkestan architecture. For example, in the reconstruction projects of the central square and the embankment of the Yassy River, motifs of geometric ornamentation and brickwork reminiscent of traditional patterns of the mausoleum are applied. This contributes to visual continuity and the formation of a recognizable urban environment (Hamidreza, Reza & Hadie, 2018).

The socio-cultural component of the modeling is reflected in the creation of public zones with active participation of local residents. For instance, in the improvement projects of pedestrian routes around the mausoleum and street areas for craft fairs, spaces for temporary exhibitions, street theaters, and art workshops are provided. Such spatial organization enhances community engagement, contributes to the preservation of intangible cultural heritage, and strengthens the city's identity (Tihova & Kuleeva, 2020).

Thus, the applied methods of architectural modeling in Turkestan are aimed at forming a sustainable urban structure where historical memory and contemporary needs are harmoniously integrated. The use of cartographic analysis and graph modeling made it possible to identify key modernization zones, integrate them into the cultural context, and ensure continuity in the development of the urban environment.

RESULTS AND DISCUSSION

SPATIAL ARCHETYPES AND TRADITIONAL NOMADIC FORMS

The architectural spaces of ancient nomadic settlements in Kazakhstan were formed based on simple and universal archetypes, which over the centuries have preserved stable morphological and semantic characteristics (Hillier & Hanson, 1984). The existing architectural archetypes of Kazakhstan- "platform," "pyramid," "avenue," and "tower" are found in various cultures around the world; however, in nomadic architecture, they acquired a special interpretation closely linked to the worldview and the complex structure of nomadic life (Figure 2).

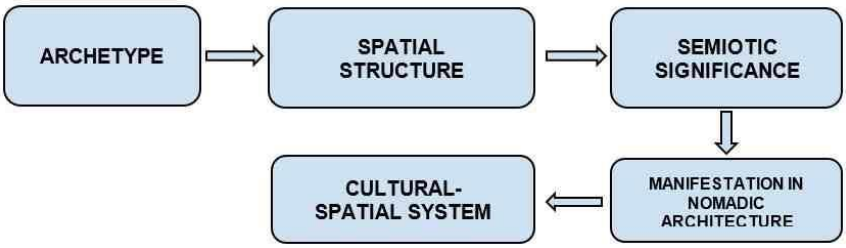


Figure 2. Paradigm of Archetypes and Semiotic Meanings.
Note – compiled by the author(s)

The yurt occupies a central place in spatial organization as a key form- circular in plan and domed vertically- embodying the idea of centrality and the axis of the world, connecting the earth

and the sky. The hearth, located at the center, was not only a functional element but also a semiotic marker of the center of the universe, while the dome symbolized the celestial vault. Thus, spatial archetypes in nomadic architecture represent not merely construction schemes but multi-layered semantic structures that form a unique cultural and spatial system (Sajfurova, 2022).

SPATIAL ARCHETYPES IN THE MAUSOLEUMS OF TURKESTAN

In the contemporary urban structure of Turkestan, the spatial archetypes of traditional architecture are not only preserved but are also purposefully integrated into current design solutions, forming a stable spatial-semantic foundation for the city (Saikeneva, 2025). The planning organization of public spaces is based on principles of centrality and axial composition, manifested in the system of boulevards and thoroughfares oriented toward key spiritual and cultural landmarks- primarily the Khoja Ahmed Yasawi Mausoleum. Vertical accents in modern buildings, including minarets, towers, and domed elements, function as visual markers, maintaining the historically established hierarchy of the city skyline. The use of platform-based foundations and terraces enhances the compositional expressiveness of public buildings and emphasizes their significance within the urban structure (Sajfurova, 2022).

Thus, the contemporary development of Turkestan demonstrates a consistent integration of traditional spatial archetypes into the modern planning system, contributing to the preservation of the city's cultural identity and the formation of a cohesive architectural-urban environment (Abdrassilova & Danibekova, 2021).

PROCEDURE FOR ARCHETYPE IDENTIFICATION

For a systematic analysis of Turkestan's public spaces, a procedure for identifying architectural archetypes was developed, based on a combination of visual-graphic and morphological methods. The aim was to determine the extent to which a specific space preserves or interprets the historical and cultural principles of the region's architecture. The process includes several consecutive stages: recording the object of analysis, describing its morphological characteristics, comparing them with archetypal models, and determining the degree of correspondence to the cultural code (Toleukhanova, 2019).

Each morphological characteristic is evaluated on a binary principle (yes/no): the presence of a platform foundation corresponds to the "platform" archetype; central organization and axial orientation correspond to the "centrality" archetype; vertical accent corresponds to the "tower/dominant" archetype; inner courtyard corresponds to the "courtyard space" archetype; interaction with the natural terrain corresponds to the "landscape integration" archetype. The number of matches is interpreted as the level of archetypality of the object: high correspondence 4–5 features, medium 2–3, low 0–1. Results are visualized in tables and graphical schemes, allowing an assessment of the spatial-cultural density of the urban environment.

An example is the Yassy embankment: prior to reconstruction, the space was fragmented, lacking a defined composition (low archetypality), whereas after reconstruction, the area acquired a terraced structure, axial directions, and visual corridors, raising the score to 4 out of 5. This method allows the identification of the dynamics of transformation of architectural archetypes and the degree of their adaptation to modern design conditions.

This procedure is universal and can be applied to the analysis of other historical cities in Kazakhstan, providing the possibility of quantitatively evaluating the continuity of forms and the architectural identity of the environment (Abdrassilova & Danibekova, 2021).

LIMITATIONS AND VALIDITY

Despite the systematic nature of the approach, the developed model has several limitations related to temporal, selective, and contextual factors. First, the temporal aspect: seasonal changes in lighting, microclimate, and the density of public space usage were not considered, which

affects the perception of squares, courtyards, and embankments (Donchenko & Samoylov, 2020). During summer and winter periods, visual axes change, routes shift, and space functions transform. Second, sample limitation: the study focused on five key nodes of the central cluster, although Turkestan also includes peripheral zones that could alter the graph structure and the ranking of dominant elements. Third, the subjective factor: perception of architectural identity depends on the cultural experience of the observer, necessitating further sociological and behavioral studies (Hillier & Hanson, 1984).

Additionally, architectural modeling inevitably simplifies the real environment, not reflecting parameters such as material, color, sound, and microclimatic characteristics (Figure 2).

To improve the accuracy of analysis, it is recommended to integrate graph modeling methods with data from geographic information systems (GIS), space syntax, and 3D scanning, enabling quantitative assessment of pedestrian flow density and visual connectivity of nodes. The validity of the model is confirmed by comparison with archival and field materials, but further testing is required in practical design.

Therefore, architectural modeling of Turkestan's public spaces should be considered as an adaptive analytical-design tool, sensitive to contextual changes and based on the continuity of cultural layers. Despite the outlined limitations, the proposed model has high representativeness for the central historical-cultural core of the city and demonstrates significant potential for application in the reconstruction and development of historical areas in Kazakhstan (Figure 3).

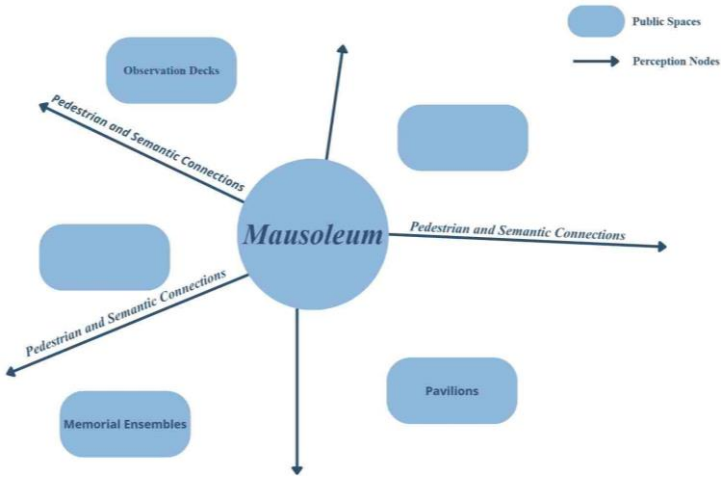


Figure 3. Graph Diagram of the Semiotic Structure

Note – compiled by the author(s) based on data (Official Information Resource of the Prime Minister of the Republic of Kazakhstan, 2025)

At the same time, the "platform" archetype is actively employed- elevated terraces, podiums, and platforms create spatial levels that enhance the perception of key dominants and establish a symbolic distinction between profane and sacred spaces.

The central and platform-based organization of space is considered one of the key methods of symbolic centering in the urban environment. In Turkestan, this principle is implemented in the spatial composition of the square in front of the mausoleum, which is situated on a raised foundation and surrounded by symmetrical architectural components. This planning structure serves as the spatial core of the tourist cluster and functions as a place of collective presence – a modern analogue of the central square of a nomadic encampment, where public gatherings and ritual activities traditionally took place. The platform elevation establishes the hierarchy of the space, while the central organization reinforces the semiotic function of the mausoleum as the

spiritual center of the city system. The sacred significance of the complex is confirmed by the fact that the Yasawi Mausoleum is included in the UNESCO World Heritage List as an example of the region's cultural symbol and architectural dominant.

The third archetype the vertical dominant- historically manifested through minarets and tower structures, which served as reference points within the sacred-spatial field. In contemporary urban planning solutions in Turkestan, this archetype is transformed into a system of vertical accents shaping the skyline along the main axis (Figure 4).



Figure 4. Vertical Structure of Turkestan City

Note – borrowed from the work of Davtyan K (2018).

A striking example is the "Visitor Center" with a pronounced tower dominant, visually marking the entrance to the historic part of the city. The vertical elements function as spatial landmarks and semiotic markers, comparable to minaret- they not only reinforce the visual hierarchy in a deliberate manner but also carry the symbolic meaning of sacred presence. Studies on the architectural development of Turkestan emphasize that contemporary projects aim to preserve visual dominants, integrating them into the city skyline to maintain the continuity of cultural identity (Figure 5).



Figure 5. Visitor Center, Turkestan City.

Note – borrowed from the work of Abdirayim K (2023).

The central node is the mausoleum. From it extend connections to other nodes- squares, ensembles, and alleys. These represent visual, pedestrian, and semantic links. The purpose is to analytically illustrate a network of semiotic relationships rather than merely planning axes.

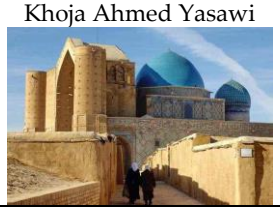
The fourth archetype- the courtyard structure- originates from the spatial organization of traditional residential complexes and religious centers (madrasas, caravanserais), where inner courtyards functioned as protected and sacred spaces. In Turkestan, this principle is evident in ensembles of cultural and tourist facilities, especially in the architecture of hotels, museums, and pavilions adjacent to the mausoleum. Inner courtyards provide a favorable microclimate, create semi-private zones for communication, and refer to the archetype of the "inner world," where spiritual life is concentrated. Semiotic interpretation defines such spaces as symbols of order and seclusion, corresponding to the Islamic tradition of architectural environments, although direct publications on their implementation in Turkestan require further clarification in academic sources.

The landscape-integrated structure, the fifth archetype, is based on the strong connection between architecture and the natural environment- characteristic of steppe culture, where the natural landscape became part of the spatial system of the settlement. In Turkestan, this logic is embodied in the improvement of the Yassy River embankment and the adjacent green zones, where architecture is embedded in the terrain through terracing, the use of natural materials, and visual corridors oriented toward the mausoleum as the center. In semiotic terms, the landscape ceases to be a neutral backdrop and becomes sacred matter through which the image of the city as a spiritual and natural whole is manifested.

The main architectural dominant- the Yasawi Mausoleum is located at the center of these visual connections (the "landscape ↔ center" axis) and is perceived as an organic part of the region's natural and cultural landscape, forming the symbolic core of the city.

Thus, within the urban structure of contemporary Turkestan, the consistent realization of key spatial archetypes- central, vertical, courtyard, and landscape- is observed. Each of these archetypes not only performs a compositional function but also acts as a bearer of stable cultural and semiotic meanings. These archetypes form the foundation for the development of a multilayered symbolic system of the urban environment, ensuring continuity between historical symbolism and modern urban practices (Table 1).

Table 1. Comparison of Spatial Archetypes and Semiotic Models in the Architecture of Turkestan

Archetype	Spatial Structure	Manifestation in Traditional Architecture	Modern Urban Planning Solutions	Semiotic Meaning
Platform	Horizontal base / platform	Podium and terraces of the Khoja Ahmed Yasawi 	Mausoleum Formation of pedestrian plazas and memorial ensembles	Foundation of the world, sacred place under the sun, fixation of the center
Pyramid / Dome	Vertical, ascending structure	Domed coverings of the Khoja Ahmed Yasawi 	Mausoleum Modern domed pavilions and tent structures in public areas	Connection between heaven and earth, sacredness, symbol of ascension

end of table 1

Avenue / Axial Organization	Linear, longitudinal structure	Main entrance axes and internal enfilades of mausoleums 	Tourist and pedestrian routes, longitudinal axes of the planning structure	Direction of movement toward the sacred center, ritual path
Tower / Vertical Accent	Vertical compositional dominant	Minarets and tower elements 	Vertical accents- pylons, towers, observation points	Axis of the world, landmark, symbol of spiritual ascension
Note – the table was developed by the author based on an analysis of the literature (Baidabekov, & Kemelbekova, 2024; Ostapenko, Bekturganova, Dyussenova, Chekaeva, & Yessenbayev, 2025; Abdrassilova, Danibekova & Кис, 2021; Samoilov, Kuspangaliyev, Sadvokasova & Akhmedova, 2023)				

AUTHOR'S CONCLUSIONS AND POSSIBILITIES OF SYNTHESIS

The conducted analysis has shown that the spatial archetypes underlying the traditional nomadic architecture and mausoleums of Turkestan represent stable morphological and semiotic structures with high potential for contemporary urban modeling. Their use in the design of public spaces makes it possible not only to ensure the continuity of architectural tradition but also to form an integral cultural and semantic framework of the urban environment, capable of transmitting historical memory and local identity (Saikeneva, 2025; Sajfurova, 2022).

One of the key principles identified in the course of the study is centrality, which traditionally lay at the core of the spatial organization of yurt settlements and mausoleums. In contemporary urban planning, this principle can be applied to the formation of compositional and functional nodes- central squares, memorial complexes, and public centers (Saikeneva, 2025).

Equally important is the use of tent-like and domed forms, which historically symbolized the connection between the earthly and celestial realms. In modern architectural and urban practice of Turkestan, these forms can function as semiotic markers, emphasizing sacred, cultural, and socially significant spaces, creating visual dominants, and enhancing the spatial and semantic expressiveness of the environment. A special role is also played by the formation of linear-longitudinal axes, interpreted as spatial embodiments of historical and spiritual routes. Incorporating such axes into the modern planning structure of the city makes it possible to actualize historical memory, guiding pedestrian flows toward key points of the cultural landscape and ensuring the semiotic legibility of the urban fabric. In addition, a promising direction is the creation of multi-level spatial compositions based on the synthesis of archetypal models such as the *"platform"*, *"pyramid"*, and *"alley."* Such solutions make it possible to convey the multi-layered historical and cultural context of Turkestan through architectural and spatial means, forming public spaces rich in meaning (Sajfurova, 2022).

Thus, the application of spatial archetypes in the design of public spaces in Turkestan goes far beyond simple decorative citation. It represents a deliberate process of semiotic modeling, in which architectural and planning decisions are meaningfully correlated with local cultural codes.

This approach contributes to strengthening the identity of the urban environment, maintaining the continuity of architectural tradition, and forming an expressive city image within the context of its dynamic modern development.

CONCLUSION

Thus, the conducted analysis of the historical, cultural, and architectural prerequisites for the formation of the spatial environment of the city of Turkestan made it possible to identify stable patterns that determine the morphogenesis of architectural and urban structures. The study has shown that architectural modeling of public spaces in Turkestan should be based on the principles of continuity of cultural archetypes and the historical hierarchy of dominants. The formation of architectural form reveals a universal sequence: from the development of the horizontal plane and basic planning configurations (circle, square, perimeter schemes) to vertical shaping and the subsequent development of volumetric and spatial structures. This logic is fundamental both for traditional nomadic architectural types and for the sacred and public buildings of historical Turkestan (Saikeneva, 2025).

Vertical dominants in the form of towers, minarets, and domed elements, based on platform solutions, perform not only structural and compositional but also semiotic functions—reinforcing the hierarchy of the city silhouette and forming a system of visual landmarks. The combination of horizontal terraced bases with vertical accents creates a characteristic spatial dramaturgy in which architectural elements serve as carriers of cultural codes and symbolic meanings (Sajfurova, 2022).

Contemporary urban trends in Turkestan demonstrate a deliberate effort to synthesize traditional archetypal forms with new bionic and technological design principles. Bionic approaches contribute to the adaptation of historical morphological patterns to current functional, ecological, and social requirements, while preserving symbolic meaning and cultural continuity.

The identified patterns confirm the universality of the principles governing the formation of volumetric and spatial structures, opening up opportunities for their methodological extrapolation to contemporary urban planning practice. The synthesis of traditional archetypes and innovative form-making approaches enables the creation of holistic public spaces capable of not only preserving the city's cultural and historical identity but also addressing the challenges of sustainable development and the symbolic representation of the urban environment (Hamidreza, Reza & Hadie 2018).

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

FUNDING: The study was conducted without external funding. The analysis, collection of materials, and preparation of the manuscript were carried out by the authors as part of their academic and research activities.

ACKNOWLEDGMENTS: The authors express their deep gratitude to their colleagues for their constructive comments, assistance in refining methodological approaches, and discussion of the research results. The authors also thank the staff of the International Educational Corporation and scientific consultants for their support, provision of materials, and assistance in organizing field research in the city of Turkestan.

NOTICE ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES: In the process of preparing this article, the authors used generative artificial intelligence tools exclusively for editing the text, structuring the materials, and checking the wording. All interpretations, conclusions, scientific positions, and research results belong entirely to the authors.

REFERENCES

Abdrassilova G., Danibekova E. & S. Kuc (2021). Mausoleum of Khoja Akhmed Yassawi as the element of regional identity formation in modern architecture of Kazakhstan. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 9(1), 127-138. https://doi.org/10.21533/pen.v9.i1.717

Baidabekov A., & Kemelbekova Э. (2024). Geometric patterns in the mausoleum of Khoja Akhmet Yasawi. Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series, 147(2), 77–86. https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-77-86

Carmona, M. (2010). Contemporary public space: Critique and classification. Journal of Urban Design, vol 15, p. 123-148. https://doi.org/10.1080/13574800903435651

Donchenko S.A. & Samoylov K.I. (2020). Urban planning concepts of the capital cities of Kazakhstan. p.105-112. https://cyberleninka.ru/article/n/urban-planning-concepts-of-the-capital-cities-of-kazakhstan/viewer

Hamidreza A., Reza J. & Hadie K. (2018). Analysis of ecological status of Iranian garden towards development of sustainable urban landscape from the modern art approach. Ukrainian Journal of Ecology, 8(2), p. 175-185. doi: 10.15421/2018_326

Hillier, B., & Hanson, J. (1984). The social logic of space. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511597237

Kurokawa, K. (1997). Each one a hero: The philosophy of symbiosis. Kodansha International. https://ru.scribd.com/doc/47408681/Kisho-Kurokawa-The-Philosophy-of-Symbiosis

Ostapenko I., Bekturganova K., Dyussenova D., Chekaeva P., & Yessenbayev A. (2025). The semiotics of ornamental facades in residential microdistricts of Almaty. Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series, 151(2), 195–208. https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-151-2-195-208

Saikeneva D.K. (2025). The World Tree as a symbol of the new capital: A semiotic analysis of the architectural image, Urbis et Orbis. 2025. 5 (1). p. 8-23. https://doi.org/10.34680/urbis-2025-5(1)-8-23

Sajfurova Je., (2022). Interweaving of traditions and innovations in the field of architecture in modern Kazakhstan. Science and Society. materials from scientific and practical conferences. ano dpo «sippsir». (pp. 225-227). https://cyberleninka.ru/article/n/-perepletenie-traditsiy-i-novatsiy-v-oblasti-arhitektury-sovremennogo-kazahstana

Samoilov K., Kuspangaliyev B., Sadvokasova G. & Akhmedova A. (2023) The Version of the Composition of the Mausoleum-Khanaka Khoja Ahmed Yassawi Main Facade in Turkestan. Heritage, 6(2), 1344-1377. https://doi.org/10.3390/heritage6020074

Toleukhanova M.R. (2019). Sacred places, related to the historical and politi-cal events. Студенческий: электрон. научн. журн. № 35(79). URL: https://sibac.info/journal/-student/79/157024 // Toleukhanova M.R. (2019). Sacred places, related to the historical and political events // Studencheskii: elektronnyi nauchnyi zhurnal [Student: Electronic Scientific Journal]. – № 35(79). – URL: https://sibac.info/journal/-student/79/157024 (In Russ.)

Абдрасилова Г.С. & Данибекова Э.Т. (2021). Развитие архитектуры и пространственной среды города Туркестан в современных условиях. QazBSQAXабаршысы. Сәулет және дизайн. №2 (80). С. 7-13. https://doi.org/10.51488/1680-080X/2021.2-10 // Abdrassilova G. & Danibekova E., (2021). Razvitie arhitektury i prostranstvennoj sredy goroda Turkestan v sovremennyh usloviyah [Development of architecture and spatial environment of the city of Turkestan in modern conditions]. QazBSQA Reporter. Architecture and design. №2 (80). С. 7-13. https://doi.org/10.51488/1680-080X/2021.2-10 (In Russ)

Танжарыкова А.& Мауленова Г. (2024). Влияние культурных и этнических факторов на современную архитектуру западного Казахстана.Central Asian Journal of Art Studies, т. 9, № 3. с. 73-86 https://doi.org/10.47940/cajas.v9i3.917 // Tanzharykovva A. & Maulenova G. (2024). Vliyanie kulturnykh i ehtnicheskikh faktorov na sovremennuyu arkhitekturu zapadnogo Kazakhstana [The influence of cultural and ethnic factors on the modern architecture of western Kazakhstan]. Central Asian Journal of Art Studies, t. 9, № 3. p. 73-86. https://doi.org/10.47940/cajas.v9i3.917 (In Russ)

Тихова Ю.Л. & Кулеева Л.М. (2020). Построение системы классификаций открытых архитектурных пространств. Известия КГАСУ, № 1 (51). с 27-35. https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-sistemy-klassifikatsiy-otkrytyh-arhitekturnyh-prostranstv/viewer // Tihova Ju. L., & Kuleeva L.M., (2020). Postroenie sistemy klassifikacij otkrytyh arhitekturnyh prostranstv. [Building a classification system for open architectural spaces]. News from KSUAE. № 1 (51). p. 27-35 https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-sistemy-klassifikatsiy-otkrytyh-arhitekturnyh-prostranstv/viewer

Цыбакин А.А. (2024). Границы как основная пространственная характеристика городской площади. Architecture and Modern Information Technologies. №1 (66). с.73-80 DOI: 10.24412/1998-4839-2024-1-73-80 // Cybajkin A.A. (2024). Granicy kak osnovnaja prostranstvennaja harakteristika gorodskoj ploshhadi [Boundaries as the main spatial characteristic of urban space]. Architecture and Modern Information Technologies. №1 (66). p.73-80 DOI: 10.24412/1998-4839-2024-1-73-80 (In Russ.)

Krisha.kz (2018). Новый аэропорт и автовокзал появятся в Туркестане. https://krisha.kz/content/news/2018/novyy-aeroport-i-avtovokzal-poyavyatsya-v-turkestane // Krisha.kz (2018). Novyy aeroport i avtovokzal poyavyatsya v Turkestane [A new airport and bus station will appear in Turkestan]. https://krisha.kz/content/news/2018/novyy-aeroport-i-avtovokzal-poyavyatsya-v-turkestane (In Russ.)

SPUTNIK Казахстан (2023). Прогулка по Туркестану: путешествие из древнего прошлого в будущее. https://ru.sputnik.kz/20230215/progulka-po-turkestanu-puteshestvie-iz-proshlogo-v-buduschee-32111430.html // SPUTNIK Kazakhstan (2023). Progulka po Turkestanu: puteshestvie iz drevnego proshlogo v buduschee [A walk through Turkestan: a journey from the ancient past to the future]. https://ru.sputnik.kz/20230215/progulka-po-turkestanu-puteshestvie-iz-proshlogo-v-buduschee-32111430.html (In Russ.)

Официальный информационный ресурс Премьер-министра Республики Казахстан (2025). https://primeminister.kz/ru // Ofitsialnyj informacionnyj resurs Premer-ministra Respubliki Kazahstan [Official information resource of the Prime Minister of the Republic of Kazakhstan]. https://primeminister.kz/ru (In Russ.)

Тихова Ю.Л. & Кулеева Л.М. (2020). Построение системы классификаций открытых архитектурных пространств. Известия КГАСУ, № 1 (51). – С. 27-35. https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-sistemy-klassifikatsiy-otkrytyh-arhitekturnyh-prostranstv/viewer // Tihova Yu.L. & Kuleeva L.M. (2020). Postroenie sistemy klassifikatsij otkrytyh arhitekturnyh prostranstv [Building a classification system for open architectural spaces]. Izvestija KGASU. № 1 (51). p. 27-35 (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



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



Гвоздикова Татьяна Анатольевна – PhD, архитектура мектебінің ассоцияланған профессоры, Халықаралық Білім Беру Корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан
Гвоздикова Татьяна Анатольевна – PhD, ассоциированный профессор школы архитектуры, Международная Образовательная Корпорация, г. Алматы, Казахстан
Gvizdikova Tatyana Anatolyevna – PhD, Associate Professor, School of Architecture, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan
e-mail: t.gvozdikova@kazgasa.kz
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2972-6046



Шариф Ясмин Раисқызы – Архитектура мектебінің магистранты, Халықаралық Білім Беру Корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан
Шариф Ясмин Раисқызы – магистрант школы архитектуры, Международная Образовательная Корпорация, г. Алматы, Казахстан.
Sharif Yasmin Raisqyzy – Master's student, School of Architecture, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan
e-mail: sharif.yasmin@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2935-5003



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



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 Oxana 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_JACS_2026_1_6
ХҒТАР 67.13.33

ЛАЗЕРЛІК ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ҚҰРЫЛЫС КОНСТРУКЦИЯЛАРЫН ТУРАЛАУ ДӘЛДІГІН АНАЛИТИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ВЫВЕРКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛАЗЕРНЫХ ПРИБОРОВ

ANALYTICAL STUDIES OF THE ACCURACY OF ALIGNMENT OF BUILDING STRUCTURES USING LASER DEVICES

Ж.К. Ракижанова [1]*, А.Г. Гольцев [2], В.Ю. Чернавин [3], А.К. Айтказина [4]
[1]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан
*Жауапты автор: Ракижанова Жанар Каримовна, e-mail: janarrak@mail.ru

Түйінді сөздер:
конструкцияларды орнату, сөз қос сәулелі лазерлік құрылғы, еңбек сыйымдылығы, сөз туралау, сөз дәлдік, сөз орталықтандыру, тік тәуекелдер.

ТҮЙІНДЕМЕ
Мақалада құрылыс конструкциялары мен металл резервуарларды тік жазықтықта орнату кезінде екі сәулелі лазерлік құрылғыны қолданып туралау әдісі бірінші болып ұсынылған. Қазіргі уақытта құрылыс конструкцияларын монтаждау кезінде оларды тік жазықтықта және өзара қиылысатын екі бағытта теңестіру үшін не екі теодолитті, не шалғай полюстерді пайдалану қажет. Екі сәулелі лазерлік құрылғыны пайдалану туралау уақытын айтарлықтай қысқартуға және оның еңбек сыйымдылығын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді. Мұндай құрылғыны пайдалану қараңғыда жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Мысал ретінде біз темірбетонды бағандарды туралауды қарастыра аламыз. Орнатудың басында баған іргетас шынысына орнатылады және екі арқалық бір нүктені алу үшін колоннаның төменгі бөлігінде орналасқан белгіге микробұрандамен бағытталады. Содан кейін олар бағананың жоғарғы жағындағы сәулені белгілейді және егер екі нүкте көрінсе, орнатушының өзі бағанды тек бір нүкте көрінетін етіп теңестіреді және ол тәуекелде орналасады. Осылайша екінші теодолиттің жұмысы мен бағананы түзету кезіндегі маркшейдер жұмысы жойылады. Дегенмен, лазерлік құрылғыларды пайдалану кезінде туралау дәлдігі, атап айтқанда, тураланатын құрылымға дейінгі қашықтыққа байланысты. Мақалада сонымен қатар фокустау қашықтығы мен лазер сәулесінің диаметрі арасындағы байланыс анықталды және ауытқулар 50 метрден аспайтын шекте нормативтік құжаттар стандарттарына сәйкес келетінін дәлелдеді. Өйткені қашықтық ұлғайған сайын сәуленің диаметрі айтарлықтай артады және құрылымның туралану дәлдігі төмендейді.

© 2026 **Ж.К. Ракижанова, А.Г. Гольцев, В.Ю. Чернавин, А.К. Айтказина**
Бұл жұмыс Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясы (CC BY 4.0) бойынша таратылады.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Ключевые слова:
ключевое слово 1 монтаж конструкций, ключевое слово 2 двухлучевой лазерный прибор, ключевое слово 3 трудоемкость, ключевое слово 4 выверка, ключевое слово 5 точность, ключевое слово 6 центрирование, ключевое слово 7 вертикальные риски.

АННОТАЦИЯ

В статье впервые предлагается способ выверки с использованием двухлучевого лазерного прибора при монтаже строительных конструкций и металлических резервуаров в вертикальной плоскости. В настоящее время в процессе монтажа строительных конструкций, для их выверки в вертикальной плоскости и в двух направлениях, взаимно пересекающихся, необходимо использовать либо два теодолита, либо выносные вешки. Применение двухлучевого лазерного прибора, позволяет значительно сократить время выверки и существенно снизить её трудоемкость. Применение такого прибора позволяет вести работы в темное время суток. Как пример можно рассмотреть выверку железобетонных колонн. В начале монтажа колонну устанавливают в стакан фундамента и микровинтом наводят оба луча на риску, расположенную в нижней части колонны таким образом, чтобы получилась одна точка. Затем перемечают луч в верхнюю часть колонны и если видны две точки, монтажник сам выравнивает колонну, таким образом, чтобы была видна только одна точка и располагалась бы она на риске. Таким образом исключается работа второго теодолита и работа геодезиста при рихтовке колонны. Однако, точность выверки при использовании лазерных приборов, зависит, в частности, от расстояния до выверяемой конструкции. В статье также выявлена зависимость между расстоянием фокусировки и диаметра лазерного луча и доказано, что отклонения вписываются в нормативные документы в пределах, не превышающих 50 метров. Так как при увеличении расстояния значительно увеличивается диаметр луча и снижается точность выверки конструкции.

Keywords:
keyword 1 installation, keyword 2 of structures, keyword 3 double-beam laser device, keyword 4 labor intensity, keyword 5 alignment, keyword 6 accuracy, keyword 7 centering, keyword 8 vertical risks.

ABSTRACT

This article was the first to propose a method of fine-tuning structures and iron tanks in construction using a two-beam laser device when installing them in a vertical plane. When mounting building structures, it is necessary to use two theodolite or remote Poles for alignment in the vertical plane, and in two directions intersecting with each other. The use of a two-beam laser device can significantly reduce alignment time and significantly reduce its labor intensity. The use of such a device allows you to work in the dark. As an example, we can consider the alignment of reinforced concrete columns. At the beginning of installation, the column is installed in the foundation glass and both beams are directed with a microscrew at the mark located in the lower part of the column so that one point is obtained. Then they mark the beam at the top of the column and if two points are visible, the installer himself aligns the column so that only one point is visible and it is located at risk. In this way, the work of the second theodolite and the work of the surveyor when straightening the column are eliminated. However, the accuracy of alignment when using laser devices depends, in particular, on the distance to the structure being aligned. The article also revealed the relationship between the focusing distance and the diameter of the laser beam and proved that deviations fit into the norms of regulatory documents within limits not exceeding 50 meters. Since as the distance increases, the diameter of the beam increases significantly and the accuracy of the design alignment decreases.

КІРІСПЕ

Құрылыстағы индустрияландырудың деңгейін дамылсыз жоғарылатуға, заманауи материалдар мен құрылымдық шешімдерді қолданып, зәулім қабатты ғимараттарды

тұрғызу, маңызды құрылымдық құрылыстарды салуда және де өндірілетін өнімнің сапасына деген талаптың жоғарылауы, бақылайтын-өлшейтін үрдістердің көлемін арттырады, аспаптардың сапасын өлшеу дәлдігіне және өлшеу процестерін ұйымдастыруға қойылатын талаптар артады.

Қазіргі құрылыста құрылыс жұмыстарының монтаждау санатына көбірек ауысуына байланысты геодезиялық құрылғыларды пайдалану көлемі едәуір артып келеді. Геодезиялық бақылау құрылыс-монтаждау жұмыстарының ажырамас бөлігі болып табылады. Ғимараттарды (құрылыстарды) салу процесінде олардың геометриялық параметрлерінің дәлдігіне геодезиялық бақылау үздіксіз жүргізіледі. Геодезиялық бақылау монтаждалатын элементтердің дұрыс орнатылуын және құрылыс-монтаждық рұқсаттардың сақталуын тексеру мақсатында жүргізіледі [А.Г. Гольцев, Б. Апшикур, т.б. Құрманғалиев, 2023]. Ол өндірістік сапаны бақылаудың міндетті құрамдас бөлігі болып табылады.

Құрылыс саласындағы технологиялық прогресс объектілерді салу мерзімдерін қысқартуға, жұмыс сапасын арттыруға және құрылыс құнының төмендеуіне әкеп соғатын геодезиялық қамтамасыз ету әдістері мен құралдарын жетілдіруді көздейді.

Зерттеу әдістері мен материалдары

Қазіргі заманда үдетілген әдістер және технологиялық өлшейтін құралдарды дайындау және оларды өндіріске енгізу өзекті мәселенің бірі.

Бұл ретте геодезиялық өлшеулердің қателігі (геодезиялық өлшеулер нәтижесінің қателігі) – геодезиялық өлшеулер нәтижесінің өлшенетін геодезиялық шаманың шынайы (нақты) мәнінен ауытқуы елеулі мәнге ие.

Мақаланың мақсаты – екі сәулелі лазерлік құрылғыны қолдана отырып, құрылыс конструкцияларын салыстырудың дәлдігін анықтау үшін есептеу-аналитикалық зерттеулер жүргізу.

Бұл ретте белгілі бір міндеттер шешілді:

– құрылыста қолданылатын лазерлік геодезиялық аспаптарды талдау;

– қазіргі заманғы лазерлік геодезиялық құрылғылардың жіктелуі;

– құрылыста екі сәулелі лазерлік визорды қолданудың тиімділігін анықтау.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Сынақтардан көрінгендей, сынау кезінде ұқыптылықпен бірнеше рет өлшенген өлшеулердің нәтижелері бірдей емес. Ол көрсетілген нәтижелердің нақты мәні емес екенін, біраз ауытқып кеткенін білдіреді. Оның ауытқыған мәні өлшеудің дәлдігін көрсетеді.

Өлшеу нәтижесінің қателігі, қарастырылған біраз факторлардан болады, оларда да өзінің қателіктері болады. Әрбір жекеленген фактордан болатын қателер қарапайым қателіктер деп аталады. Нәтижелер бойынша өлшеудің қателіктері қарапайым қатемен алгебралық қосындысы болады.

Қателіктер белгісі бойынша екіге бөлінеді: шығу тегіне байланысты және әрекет ету сипаты бойынша.

Қателіктер әрекетінің сипатына қарай өрескел, кездейсоқ және жүйелі болып бөлінеді.

Белгілі бір шектен абсолютті мәнінен асқан қателер өрескел қателер деп аталады. Ондай қателер көбінесе орындаушының қате өлшеуінен пайда болады. Ондай жағдайда қайтадан өлшеу жүргізу арқылы орындалады, алдыңғының нәтижесі ақаулы болып, қайта өлшенген нәтижеге ауыстырамыз.

Белгілеріне және шамаларына қарай бірталай өлшемдерде қайта қайталанған қателер жүйелі қателіктер деп аталады. Олардың әсерлерін өлшеудің нәтижелерінен алуға, өлшейтін құрал-жабдықты жақсылап тексеруге, тиімді әдістерді пайдалануға және де өлшеудің нәтижелеріне түзетулер жасауға тырысады.

Әрбір жекеленген өлшеудің нәтижесінің әсерлері және мөлшері белгісіз болатын қателіктер кездейсоқ қателіктер деп аталады. Олардың мөлшерін және белгілерін алдын ала біліп-анықтау мүмкін болмайды. Бірақ, зерттеулер мен көптеген жылдар бойы өлшеудің тәжірибелері кездейсоқ қателердің белгілі бір ықтималдық заңдылығына бағынатынын көрсетіп, зерттеу арқылы сенімді нәтижеге қол жеткізіп, оның тура дәлдігін бағалауға мүмкіндігін көрсетеді.

Пайда болуына байланысты, сыртқы және жеке құрылғының қателері болып бөлінеді.

Құрылғының қателігі оның жетілдірілмегендігіне байланысты, мысалға теодолит арқылы өлшенген бұрыштың қателігі, айналу өсінің тік күйіне дұрыс түспеуі.

Өлшемдерді жүргізетін сыртқы ортаның әсерінен сыртқы қателер пайда болады, мысалға, жарық сәулесінің бойындағы ауа температурасының өзгеруі және деңгейінің күн сәулесінің қызуына байланысты нивелирдің бойындағы қателік.

Бақылаушының ерекшелігімен жеке қателер байланысты, мысалы көру түтігін әр бақылаушы көру мақсатына қарай әртүрлі бағыттайды.

Өлшеу нәтижелерінен өрескел қателер алып тасталынуы қажет, жүйелі қателіктер болса минималды рұқсат етілген шегіне дейін алынып немесе азайтылуы керек болғандықтан, өлшемдерді тура дәлдікпен жобалау мен өлшенген өлшемдердің нәтижелерін бағалау кездейсоқ қателіктердің қасиеттеріне негізделген.

Инженерлік-геодезиялық жұмыстар технологиялық процестің құрамдас бөлігі болып табылады және объектілер пайдалануға берілгенге дейін орындалады. Өнімділік пен сапаны арттыруға қойылатын талаптар өсіп жатқандықтан, құрылыстың көлемі мен қарқыны тез жүріп жатқаны, оны қамтамасыз ету үшін заманауи әдістермен құрал жабдықтарын енгізуді талап етеді.

Геодезиялық қамтамасыз ету сияқты санатқа қашықтықты өлшеуден бастап бұрыш пен қашықтық бойынша нүктелерді табиғатқа шығаруға дейінгі құрылыс, жоспарлау және жөндеу мәселелерінің кең ауқымын шешуге мүмкіндік беретін көптеген құрылғылар кіреді.

Тік жазықтықтағы конструкцияларды салыстырудың қолданыстағы әдістері көп уақытты қажет етеді және бірқатар кемшіліктерге ие. Жылжымалы қалыптарды, бағандарды және қабырға панельдерін салыстыру үшін бірнеше теодолиттер, соның ішінде тік орналастырумен де қолданылады.

Қазіргі кезде геодезиялық жұмыстарды нақты орындауға арналған заманауи көптеген лазерлі құрылғылар шығуда, құрылыс құрылымдарын салыстыруда визуалды жүйелі теодолит те сұранысқа ие болуда.

Осыны ескеріп лазерлік құрылғылардың артықшылықтарына назар аудара отырып, атап айтқанда көрнекілік пен кеңейтілген функционалдылық, пайдаланудың қарапайымдылығы және бір адамға құрылғымен жұмыс істеу мүмкіндігі бар, салыстырудың күрделілігін төмендетуге қабілетті құрылғы жасалды.

Жоспарланған жерлерді және құрылымның түзулігін лазерлі теодолит сәулесін қолданып бүйірлік нивелирлеу әдісімен анықтауға болады. Бұл жерде құрастырылатын бөлшекті үзбей геодезиялық бақылау жүргізеді, сәуленің бағытымен түзіліп көрінетін сызықтар мен жазықтар арқылы оларды түзу құрауға болады.

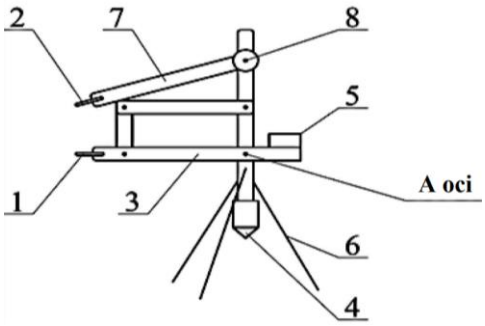
Осы сияқты әдістерді ішкі жөндеу жұмыстарында және үйдің ішіндегі басқа да құрылымдарды орнату кезінде қолдануға болады, кәсіпорындарда және қоғамдық ғимараттарда тексеріс үшін көптеген басқа да құрылғылар бар.

Өлшеудің дәлдігі лазерлі құрылғымен істегенде таралу ұзақтығына байланысты өзгеретін сәуленің сәулесінің диаметріне байланысты және олардың шетінің анықтығы ұзақтығына байланысты өзгереді.

Құрылымды салыстырудың бұл әдісі екі визирмен бір теодолитті қолдануға мүмкін екенін көрсетеді. [Хасенов К.Б., Гольцев А.Г., Салпышев О.Д. 2012].

Құрылғыны төменнен жоғарыға қарай жылжытқан кезде жұмыс бетінде тік жазықтықта белгілі жердің жалғызын ғана көрсететін екі визирден тұратынын көрсетеді (1-сурет).

Мұнда ол жердің түзулігін жұмыс істеуші бірден көреді, оны көмекшісіз түзете алады, ол жерде жарықтың сәулелері көрінеді.



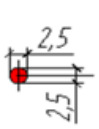
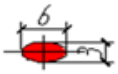
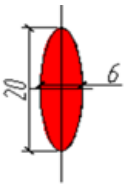
1-сурет. Құрылымдарды арнайы салыстыру үшін екі сәулесі бар лазерлі құрылғының сызбасы: 1-2 – лазерлі визирлер; 3 – сызба; 4 – орнатылған жерді бақылауға арналған тақта; 5 – қарсылай салмақ; 6 – штатив; 7 – қалқасы; 8 – көтерме бұрандасы
Ескерту – авторлар 2009.05.21 №614 патент негізінде құрастырған (Гольцев А.Г., Құрмангалиев Т.Б.)

Жұмыс істеу принципі келесідей болады. Ең алдымен жұмысқа дейін аспапты және оған қарсы салмағын тіректің көмегімен орналастырамыз. Ары қарай қажетті бұрандасы болатын тіреуішпен, бақыланатын беттегі нүктелердің қиылысына қарай қозғаймыз. Сол жерде А осіне қарайтын бірінші лазер бұрылады да екінші лазердің қимылына әкеледі, сызықты көрсететін геометриялық бейне жазықта аударылып, басындағы бейнені сақтап (паралеллограм), сызбаның тік жағынан лазердің қиылысқан жеріндегі нүктені көрсетеді. Осылайша, монтаждаушының өзі құрылымды тексереді [Гольцев А.Г., Құрманғалиев Т.Б., № 2009/050. 2].

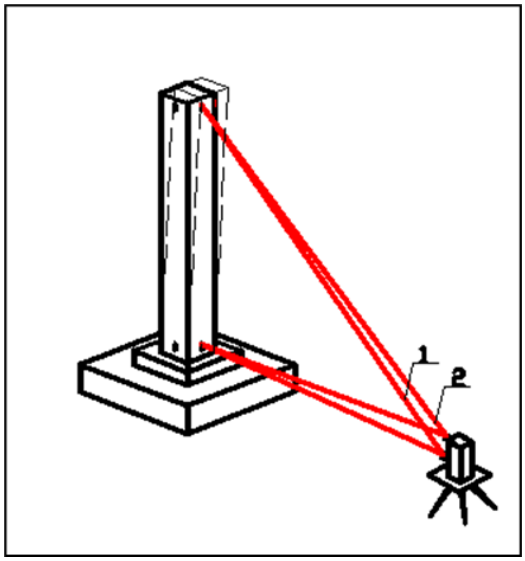
Арнайы құжаттамаларда реттелетін лазер сәулелерінің сәйкессіздіктерін анықтауда, арнайы белгіленген ара қашықтықтарда лазердің сәулесі бағытын анықтап сынаулар өткізілді. Мақсатты белгіленген ара қашықтықтар: 5 м, 10 м, 20 м, 30 м арнайы лазер сәулелері үшін алынды.

Жалпы кез келген сәуле таратылатын жағына қарай жарық сәулесі жайылғанда көлденең шашыраңқылыққа кездеседі. Барлық лазерлік сулелерге келетін маңыздылық ол сәуле аспаптан минималды ара қашықтықта дөңгелек түрінде кездеседі, содан соң ол ара қашықтыққа байланысты тіке қарай немесе көлденеңінен кеткен эллипс сияқты келеді. Өлшеудің нәтижелері төменде 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте. Лазер сәулесінің өлшемдері тік жазықтық, мм

Құрылғыдан жазықтыққа дейінгі қашықтық	1,5 м	5 м	10 м	20 м	30 м
Лазер сәулесінің өлшемдері мен түрі					
Ескерту – Гольцев А.Г. мен Ильиных Е.А. «Құрылыс конструкцияларын монтаждау кезінде лазерлік салыстырудың жаңа әдісін қолдану тиімділігі зерттеулері» негізінде құрастырылған. 2014 ж. магистрлік диссертация					

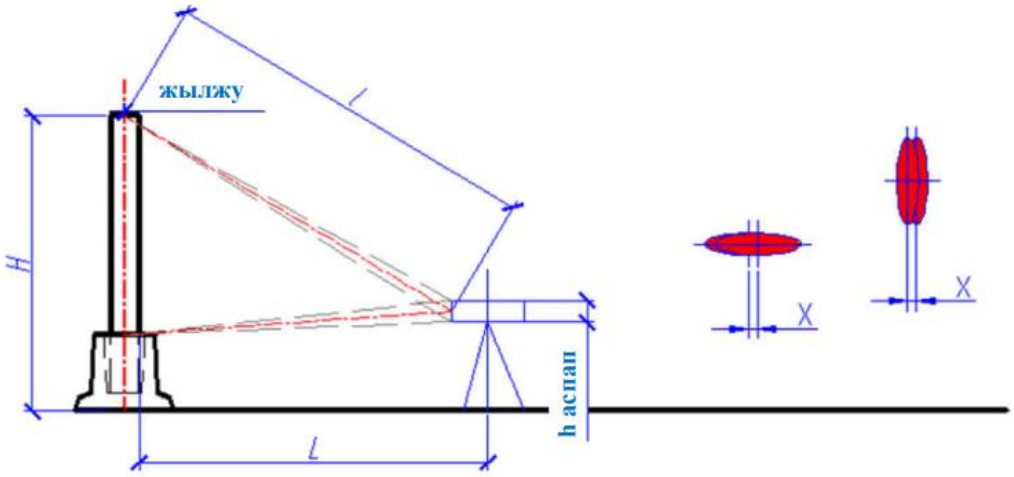
Әрі қарай, бақыланатын беттегі лазер сәулелерінің көрінуінің мүмкін нұсқауларына талдау жасалады, сонымен қатар олардың алшақтық немесе конвергенция әсерінің құрылымның орналасуына тәуелділігі анықталады. Тексерілетін элемент ретінде қимасы 400 х 400 мм темірбетон бағанасы қабылданды. Бағананы орнату схемасы 2-суретте көрсетілген.



2-сурет. Бағананы орнату схемасы: 1, 2 – лазерлік сәулелер

Ескерту – Схема «Ғимараттар мен үймерпеттерді тұрғызу технологиясы» бойынша дәрістер курсы материалы негізінде жасалған. Гольцев А.Г. «Ғимараттарды тұрғызу технологиясы» пәні бойынша дәрістер курсы – 2023

Есептеу схемасы 3-суретте көрсетілген.



3-сурет. Есептік схема: Н – тұрғызылатын конструкцияның биіктігі;
L, l – тұрғызылатын конструкцияға дейінгі қашықтық; $h_{аспап}$ – құрылғының биіктігі,
300 мм; х – лазердің есептелген сәулелерінің арасындағы қашықтық

Ескерту – Схема «Ғимараттар мен үймерпеттерді тұрғызу технологиясы» бойынша дәрістер курсы материалы негізінде жасалған. Гольцев А.Г. «Ғимараттарды тұрғызу технологиясы» пәні бойынша дәрістер курсы, 2023 ж.

Тексерілетін құрылымның жобалық жоғдайдан біршама ауытқуы бар деп қабылданған. Бұл жағдайда оның бетінде осьтер арасында қашықтық *x* пайда болатын екі проекцияланған лазер сәулелері байқалады.

Құрылымды әртүрлі қашықтықта дұрыс орнатпаған кезде сәулелердің орналасуының екі нұсқасы қарастырылады. 3-ші есептік схемасы негізінде позициялардың әрқайсысының орналасуы сызылады және сәулелер арасындағы қашықтықты өлшеу жүргізіледі. Лазерлік сәулелердің бірі 90^0 тік бұрышта орналасқан жағдайда, бетіне бағытталған екі сәуле тікбұрышты үшбұрышты құрайды.

Үшбұрыштардың ұқсастығы бойынша бағанаға дейінгі арақашықтықты, лазер сәулелері арасындағы бұрыш пен арақашықтықты біле отырып, болатын ауытқуларды есептейміз. Ауытқуды *m* арқылы белгілейміз, мәндерін 2-ші кестеге толтырамыз.

1. 5 м қашықтықта:

$$m = \frac{500*0,6}{30} = 10 \text{ см;} \quad (1)$$

$$m = \frac{500*0,3}{30} = 5 \text{ см;} \quad (2)$$

$$m = \frac{500*0,15}{30} = 2,5 \text{ см;} \quad (3)$$

мұндағы: 5 м – құрылымға дейінгі қашықтық;
30 см – құрылғының биіктігі.

2. 10 м қашықтықта:

$$m = \frac{1000*0,25}{30} = 8,3 \text{ см;} \quad (4)$$

$$m = \frac{1000*0,5}{30} = 16,6 \text{ см.} \quad (5)$$

3. 20 м қашықтықта:

$$m = \frac{2000*0,4}{30} = 26 \text{ см;} \quad (6)$$

$$m = \frac{2000*0,2}{30} = 13,3 \text{ см;} \quad (7)$$

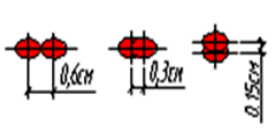
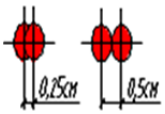
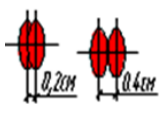
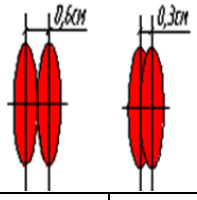
$$m = \frac{2000*0,8}{30} = 53,34 \text{ м.} \quad (8)$$

4. 30 м қашықтықта:

$$m = \frac{3000*0,6}{30} = 60 \text{ см;} \quad (9)$$

$$m = \frac{3000*0,3}{30} = 30 \text{ см.} \quad (10)$$

2-кесте. Лазер сәулелерінің ауытқуын есептеу нәтижелері

L – құрылымға дейінгі қашықтық	*5 м*			*10 м*		*20 м*		*30 м*	
Сәулелердің қиылысу нұсқалары									
Осьтен ауытқу	±10 см	±5 см	±2,5 см	±8,3 см	±16,6 см	±13,3 см	±26 см	±60 см	±30 см

Ескерту – Гольцев А.Г., Ильиных Е.А. зерттеулері негізінде құрастырылған – Құрылыс конструкцияларын монтаждау кезінде лазерлік салыстырудың жаңа әдісін қолдану тиімділігі. 2014 ж. магистрлік диссертация

Графикалық талдау екі лазер сәулесінің қарастырылған орналасу нұсқаларында пайда болатын ауытқулар белгіленген нормативтік талаптарға сәйкес келмейтінін көрсетеді, сондықтан мұндай сәйкессіздіктерге жол берілмейді деп санау керек. Осылайша салыстыру кезінде бір сәулені екіншісіне мүмкіндігінше сәйкес келуін қамтамасыз ету керек (А.Г. Гольцев, Т.Т. Ипалаков, Д.В. Большаков. 2014ж.).

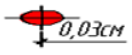
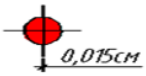
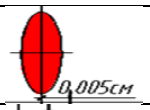
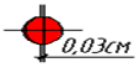
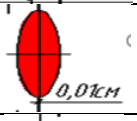
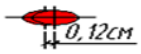
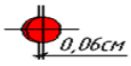
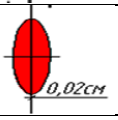
Белгісіздерді анықтағаннан кейін біз үшбұрыштың қалған бұрыштарын есептейміз:

- 5 м ұзындықта бұрыштама 40^0 құрайды;
- 10 м ұзындықта бұрыштама 20 болады;
- 20 м ұзындықта бұрыштама 10 құрайды;
- 30 м ұзындықта бұрыштама 10 болады.

Әрі қарай, біз кері бағытта есептейміз, салыстыру кезінде рұқсат етілген ауытқулар туралы ойланамыз, сәулелер арасындағы қашықтықты (х) есептейміз.

Есептеулер қоытындысы бойынша 3-ші кестені толтырамыз.

3-кесте. *Л*азер сәулелерінің қойылуының рұқсат етілген ауытқулары

L – конструкцияға дейінгі қашықтық	5 м	10 м	20 м	30 м
Осьтен ауытқу ± 0,5 см				
± 1 см				
± 2 см				
Ескерту – Гольцев А.Г., Ильиных Е.А. зерттеулері негізінде құрастырылған – Құрылыс конструкцияларын монтаждау кезінде лазерлік салыстырудың жаңа әдісін қолдану тиімділігі. 2014 ж. магистрлік диссертация				

ҚН нормативтік құжаттарының талаптарына сәйкес (Е.А. Ильиных, А.Г. Гольцев, 2006ж) көп қабатты ғимараттар бағаналарының жоғарғы қимасының бағдарлары (геометриялық осьтердің белгілері) біріктіруден рұқсат етілген ауытқу осьтерінің бөліну қаупі бар: бағаналардың ұзындығы 4 м-ге дейін 12 мм, ұзындығы 4-тен 8 м-ге дейін – 15 мм. 3-кестеде келтірілген мәліметтер негізінде (А.Г. Гольцев, Т.Б. Құрманғалиев, № 2009/049.2) екі сәулелі лазерлік визорды қолдану екі лазер сәулесінің нақты үйлесуі жағдайында көрсетілген нормативтік талаптарға сәйкес келеді деген қорытынды жасауға болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Эксперименттік зерттеулер фокустық қашықтық пен лазер сәулесінің диаметрі арасындағы байланысты анықтады. Алынған нәтижелер құрылымдарды 50 м-ден жоғары қашықтықта тексерудің орындалмайтындығы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді, өйткені сәуленің диаметрінің ұлғаюы монтаждау дәлдігінің төмендеуіне әкеледі.

Графикалық талдау екі лазер сәулесінің өзара орналасуының қарастырылған нұсқаларында пайда болатын ауытқулар қолданыстағы нормативтік талаптарға сәйкес келмейтінін көрсетеді, сондықтан мұндай сәйкессіздіктерге жол берілмейді деп санау керек. Сондықтан дәлдеу кезінде бір лазер сәулесінің екіншісіне мүмкіндігінше сәйкес келуін қамтамасыз ету қажет.

Құрылғының қателігін есептеу кезінде салыстыру әдістерінің бірі қарастырылды. Дегенмен, бұл мәселені тереңірек талдау үшін құралды қолдана отырып практикалық эксперименттік зерттеулер жүргізу қажет. Сонымен қатар, орындалған есептеулер құрылымның жобалық жағдайына тік күйде орнату кезінде оған жетудің жеткілікті дәлдігі қамтамасыз етілгенін растауға мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын айтады.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Қаржыландыру «Алтай» технопаркінің эксперименттік зерттеулері шеңберінде жүргізілді.

АЛҒЫС: Авторлар әріптестеріне әдістемелік қолдау және пайдалы талқылаулар үшін, сондай-ақ мақаланың сапасын жақсартуға ықпал еткен құнды ескертулер үшін анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Гольцев А. Г., Апшикур Б., Курмангалиев Т. Б. Совершенствование методов проверки строительных конструкций в вертикальной плоскости // Вестник Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева. – 2023. – № 1. – С. 62–69. URL: https://vestnik.ektu.kz/index.php/vestnik/article/view/301 / Gol’tsev A. G., Apshikur B., Kurmangaliyev T. B. Sovershenstvovanie metodov proverki stroitel’nykh konstruktsii v vertikal’noi ploskosti [Improvement of methods for checking building structures in the vertical plane] // Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbayeva. – 2023. – No. 1. – P. 62–69. (In Russ.)

Кудрявцев Н. В., Конушина Е. Ю. Анализ методики проведения разбивки и выверки рельсовых путей башенного крана с применением геодезического оборудования (на примере г. Тюмень) // Сборник трудов LVII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса». – Тюмень, 2023. – Т. 5. – С. 202–208. / Kudryavtsev N. V., Konushina E. Yu. Analiz metodiki provedeniya razbivki i vyverki rel’sovykh putei bashennogo krana s primeneniem geodezicheskogo oborudovaniya (na primere g. Tyumen’) [Analysis of the methodology for layout and alignment of tower crane rail tracks using geodetic equipment (case study of Tyumen)] // Sbornik trudov LVII nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh “Dostizheniya molodezhnoi nauki dlya agropromyshlennogo kompleksa”. – Tyumen’, 2023. – Vol. 5. – P. 202–208. (In Russ.)

Курц М. А., Илемкова Н. Р. Лазерные нивелиры в строительстве // Молодежь и наука: материалы международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2021. – С. 155–157. / Kurts M. A., Ilemkova N. R. Lazernye niveliry v stroitel’stve [Laser levels in construction] // Molodezh’ i nauka: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii starsheklassnikov, studentov i aspirantov. – Nizhnii Tagil: NTI (filial) UrFU, 2021. – P. 155–157. (In Russ.)

Гольцев А. Г., Ипалаков Т. Т., Хасенов К. Б. Выверка строительных конструкций двухлучевым лазерным прибором // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2020. / Gol’tsev A. G., Ipalakov T. T., Khasenov K. B. Vyverka stroitel’nykh konstruktsii dvukhluchevym lazernym priborom [Alignment of building structures using a dual-beam laser device] // Vestnik Vostochno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbayeva. – 2020. (In Russ.)

Хасенов К.Б., Гольцев А.Г., Салпышев О.Д. Выверка строительных конструкций двухлучевым лазерным прибором // Engineering. Materials Science. – 2012. – Corpus ID: 109865221. / Khasenov K.B., Gol'tsev A.G., Salpyshev O.D. Vyverka stroitel'nykh konstruktsii dvukhluchevym lazernym priborom [Alignment of building structures using a dual-beam laser device] // Engineering. Materials Science. – 2012. – Corpus ID: 109865221. (In Eng.)

Гольцев А.Г., Курмангалиев Т.Б. Устройство для контроля формы и расположения плоских поверхностей: патент Республики Казахстан на полезную модель № 614, заявка № 2009/049.2. – 2009. / Gol'tsev A.G., Kurmangaliyev T.B. Ustroistvo dlya kontrolya formy i raspolozheniya ploskikh poverkhnostei [Device for controlling the shape and position of flat surfaces]: Utility Model Patent of the Republic of Kazakhstan No. 614, Application No. 2009/049.2. – 2009. (In Russ.)

Гольцев А.Г., Курмангалиев Т.Б. Устройство для контроля формы и расположения плоских поверхностей: патент Республики Казахстан на полезную модель № 615, заявка № 2009/050.2. – 2009. / Gol'tsev A.G., Kurmangaliyev T.B. Ustroistvo dlya kontrolya formy i raspolozheniya ploskikh poverkhnostei [Device for controlling the shape and position of flat surfaces]: Utility Model Patent of the Republic of Kazakhstan No. 615, Application No. 2009/050.2. – 2009. (In Russ.)

Гольцев А.Г., Ипалаков Т.Т., Большаков Д.В. Способ выверки строительных конструкций лазерным прибором в вертикальной плоскости при монтаже // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-X: Международный научный конгресс. Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сборник материалов. – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т. 1. – С. 98–103. / Gol'tsev A.G., Ipalakov T.T., Bolshakov D.V. Sposob vyverki stroitel'nykh konstruktsii lazernym priborom v vertikal'noi ploskosti pri montazhe [Method for aligning building structures with a laser device in the vertical plane during installation] // Interekspo GEO-Sibir'-X: Mezhdunarodnyi nauchnyi kongress. Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheideriya": sbornik materialov. – Novosibirsk: SGGA, 2014. – Vol. 1. – P. 98–103. (In Russ.)

Ильиных Е.А., Гольцев А.Г. Эффективность применения нового способа лазерной выверки при монтаже строительных конструкций: магистерская диссертация. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ им. Д. Серикбаева, 2014. / Il'inykh E.A., Gol'tsev A.G. Effektivnost' primeneniya novogo sposoba lazernoi vyverki pri montazhe stroitel'nykh konstruktsii [Efficiency of applying a new laser alignment method during installation of building structures]: Master's thesis. – Ust'-Kamenogorsk: VKGTU im. D. Serikbayeva, 2014. (In Russ.)

Как проверить ровность стены лазерным нивелиром. – Электронный ресурс. URL: https://laserpribor.ru/kak-proverit-rovnost-stenyi / Kak proverit' rovnost' steny lazernym nivelir om [How to check wall flatness using a laser level]. – Electronic resource. (In Russ.)

Лазерные приборы вертикального проектирования. Выверка элементов. – Электронный ресурс. URL: https://bstudy.net/847737/estestvoznanie/lazernye_pribory; http://tech-stroyka.ru/index.php / Lazernye pribory vertikal'nogo proektirovaniya. Vyverka elementov [Laser devices for vertical projection. Alignment of elements]. – Electronic resource. (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Ракижанова Жанар Каримовна – техника ғылымдарының магистрі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан
Ракижанова Жанар Каримовна – магистр технических наук, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
Rakizhanova Zhanar – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: janarrak@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9930-7007,



Гольцев Анатолий Григорьевич – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан,
Гольцев Анатолий Григорьевич – к.т.н., ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г.Усть-Каменогорск, Казахстан,
Goltsev Anatoly – Candidate of Technical Sciences, associate professor, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: agoltsev-vko@mail.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9449-4405



Чернавин Валерий Юрьевич – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан
Чернавин Валерий Юрьевич – к.т.н., ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
Chernavin Valery – Candidate of Technical Sciences, associate professor, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
e-mail: VChernavin58@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2247-1458,



Айтказина Аяжан Калелхановна – техника ғылымдарының магистрі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан
Айтказина Аяжан Калелхановна – магистр технических наук, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
Aitkazina Ayazhan – master of technical sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan
e-mail: a.aytkazina@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6305-4696

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_7
ХҒТАР 67.07.01

1965-1985 ЖЫЛДАРДА АСТАНА ҚАЛАСЫНЫҢ (АҚМОЛА) ӘЛЕУМЕТТІК ИНФРАҚҰРЫЛЫМ ОБЪЕКТІЛЕРІНІҢ ТАРИХИ ДАМУЫ

ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ОБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА АСТАНЫ (АКМОЛЫ) В 1965-1985 гг.

HISTORICAL DEVELOPMENT OF SOCIAL INFRASTRUCTURE FACILITIES OF THE CITY OF ASTANA (AKMOLA) IN 1965-1985

Д.Е. Сарсембаева[1*]
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
**Жауапты автор: Сарсембаева Динара Ержановна, e-mail: dinara5431@mail.ru*

Түйінді сөздер:
қоғамдық орталықтар, қызмет көрсету жүйесі, жоспарлау құрылымы, әлеуметтік инфрақұрылым объектілері, әкімшілік ғимарат, аумақ, ірі магистральдар, мекемелердің қолжетімділігі.

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада Астанадағы әлеуметтік инфрақұрылым нысандарының тарихи дамуы қарастырылған. Зерттеу қызмет көрсету мекемелерінің қалыптасуының негізгі сәттерін сараптау болып табылады. Қала орталығы қоғамдық ғимараттармен толықтырылды, қаланың ерекше сәулеттік келбетін жасауға әсер етті. Қала ғимараттардың ерекшелігі олардың негізгі көшелерге бағытталғандығы болып табылады, тұрғындар үшін қалалық кеңістікті құруға мүмкіндік берді. Зерттеуде нысандардың 1965-85 жылдардағы ықшам қаладағы орналасуы талданады. Ол сонымен қатар қала тұрғындарының жаяу жүргіншілер қозғалысын жеңілдететін қалалық кеңістіктерді зерттейді. Қала аумақтары арасындағы байланысты жақсартты және басқа бөліктеріндегі тұрғындар үшін мекемелердің қолжетімділігін арттырды. Жұмыс 1965-1985 жылдар аралығында қала орталығында салынған әлеуметтік инфрақұрылым нысандарын көрсетеді. Қоғамдық орталықты құруға назар аудару қаланың ішінде әкімшілік және мәдени нысандарды шоғырландыруға мүмкіндік берді. Жоспарлау құрылымы аясында қала орталығы пайдалануға арналған ірі нысандармен толықтырылды. Шаралар тарихи орталықтың сәулеттік келбетін жақсартып, оған үйлесімді дизайн берді. Осы ерекшеліктерді қарастыру қазіргі заманғы қалалық қызмет көрсету құрылымында объектілерді орналастырудың өзектілігін көрсетеді.

Ключевые слова:
общественные центры,система обслуживания, планировочная структура, объекты социальной инфраструктуры,

АННОТАЦИЯ

В статье изучается историческое развитие объектов социальной инфраструктуры города Астаны. Исследование представляет собой рассмотрение основных моментов формирования учреждений обслуживания. Общегородской центр был дополнен общественными зданиями, которые повлияли на создание выразительного архитектурного облика города. Характерная особенность данных

© 2026 **Д.Е. Сарсембаева**
Бұл жұмыс Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясы (CC BY 4.0) бойынша таратылады.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

административное здание, территория, главные магистрали, доступность учреждений.

зданий в ориентации на главные улицы, что позволило создать городские пространства для населения. В исследовании приводится анализ расположения данных объектов в условиях компактного города 1965-85 гг. Также изучается городские пространства, в которых были созданы условия для пешеходного передвижения населения города. Это улучшало связь территорий города и повышало доступность учреждений для населения в других частях города. В работе отражены построенные объекты социальной инфраструктуры общегородского центра в 1965-85 гг. Внимание к созданию общественного центра позволило сосредоточить объекты административного и культурного назначения на территории развивающегося города. В планировочной структуре города общегородской центр дополнился крупными объектами социальной инфраструктуры. Данные меры улучшили архитектурный облик исторического центра и придали ему гармоничность решения. Рассмотрение данных особенностей выявляет актуальность размещения объектов в структуре современного городского обслуживания.

Keywords:
community centers, service system, planning structure, social infrastructure facilities, administrative building, territory, main highways, accessibility of institutions.

ABSTRACT
This article examines the historical development of social infrastructure facilities in Astana. The study examines key aspects of the formation of service facilities. The city center was supplemented by public buildings, which influenced the creation of the city's distinctive architectural appearance. A characteristic feature of these buildings is their orientation toward main streets, which allowed for the creation of urban spaces for the population. The study analyzes the location of these facilities in the compact city of 1965-85. It also examines urban spaces that facilitated pedestrian movement among the city's population. This improved the connection between city territories and increased the accessibility of facilities for residents in other parts of the city. The work reflects the social infrastructure facilities constructed within the city center between 1965 and 1985. The attention paid to the creation of the public center allowed for the concentration of administrative and cultural facilities within the developing city. As part of the city's planning structure, the city center was supplemented with major social infrastructure facilities. These measures improved the architectural appearance of the historic center and gave it a harmonious design. Consideration of these features reveals the relevance of the placement of facilities in the structure of modern urban services.

КІРІСПЕ

Астана аумағы ұзақ тарихи кезеңде дамып келеді. Ең маңызды кезеңдердің бірі 1965-85 жылдары. Қала құрылысы жүйесі үшін қаланың тарихи бөлігінде қоғамдық ғимараттар салудың маңызы зор болды. Қаланың сәулет ансамбльдерін құруға көңіл бөлу басты мәселе болды. Әлеуметтік инфрақұрылым нысандары осы аспектілерді ескере отырып салынған ғимараттар болды. Мұнда қоғамдық ғимараттардың қаланың жоспарлау құрылымында орналасуы өте маңызды. Қаланың аумақтық өсуі шағын аудандардың дамуына әсер етті.

Зерттеуде 1965-1985 жылдардағы қала аумағын қарастырады, ол жылдары қолданыстағы жоспарлау құрылымын жақсартуға көңіл бөлумен сипатталады. Қала құрылымына «Жастар» сарайының алдындағы алаң және тарихи орталық кіреді. Қарастырылған аумақтағы ғимараттарға «Жастар» сарайы, «Турист» қонақ үйі, «Ишим» қонақ үйі, Орталық әмбебап дүкені жатады.

1965-85 жылдардағы қала құрылысы құрылымында нысандардың қалыптастыруы маңызы зор болды. Нысандар қоғамдық кеңістіктерді сәулеттік жоспарлауға әсер етті. «Целингипросельхоз» жобалау институтының 16 қабатты ғимараты мен Жастар сарайы (қазіргі «Жастар») қаланың орталық бөлігінің келбетіне көрік беріп тұрды. Жұмыста әлеуметтік инфрақұрылым нысандарының тарихи мысалдарын қарастырған жөн. Қала ішінде мекемелердің орналасуы қала аумағына қатысты қарастырылады.

Ұсынылған жұмыстың өзектілігі қаланың жоспарлау құрылымында әлеуметтік инфрақұрылым нысандарының қалыптасуының құнды тарихи мысалдарын қарастыруда.

Ұсынылған зерттеудің мақсаты 1965-1985 жылдар аралығындағы Астана қаласының әлеуметтік инфрақұрылым нысандарының тарихи дамуын зерттеу және талдау болып табылады.

Осы мақсатта жалпықалалық тарихи даму орталығы қарастырылды. Жұмыс қала ішінде қызмет көрсету жүйесін дамытудың бағыттарын айқындайды. Ұсынылған зерттеудің жаңалығы 1965 жылдан 1985 жылға дейін қаланың жоспарлау құрылымындағы әлеуметтік инфрақұрылым объектілерін сараптауында. 1960 жылы қала халқы 129 000 адамды құрады, саны 1980 жылға қарай өсті. Халық санының үздіксіз өсуі мәдениет, спорт және демалыс нысандарын жобалау қажеттілігін көрсетеді.

Зерттеудің мақсаттары:

- тарихи дамуды қарастыру;

- қаланың жоспарлау құрылымындағы әлеуметтік инфрақұрылым объектілерін зерделеу;

- нысандарды қала орталығына қатысты орналастыруды зерделеу;

- әлеуметтік инфрақұрылым объектілерін орналастыру критерийлерін анықтау.

Қаладағы әлеуметтік инфрақұрылым нысандарының қалыптасу тарихы отандық ғалымдардың еңбектерінде қарастырылған (Kornilova, Khorovetskaya, Sarsembayeva et al., 2019; Глаудинов Б.А., 1999.). Қаланың әлеуметтік-мәдени функциялары мен қоршаған ортасы Коган Л.Б. жұмысында қарастырылған (Коган Л.Б., 1982). Қалалық аумақтың дамуының тарихи ерекшеліктері Чекаев Ф.М. еңбектерінде көрсетілген (Чекаев, 2009).

Қаланың жоспарлау құрылымындағы қоғамдық орталықтардың дамуы және осы жоспарлау құрылымының эволюциясы Солтүстік Қазақстандағы қалалардың дамуын зерттеуде берілген (Тоскина, 2002). Мақалада ішкі және халықаралық қалалардағы әлеуметтік инфрақұрылымды дамытудың алғышарттары қарастырылған (Каракова Т.В., Сарсембаева Д.Е., 2018 ж.).

Қала аудандарының кеңістіктік дамуы бойынша жұмыстар қарастырылды (Deniz Avci-Hosanli, Cansu Degirmencioglu, 2024; Yixing Duan, Da Lu, Lanchun Bian, 2024).

Кеңістіктік даму мәселелері сәулет ескерткіштерінің мысалдары арқылы қарастырылады (Қуспанғалиев, Самойлов, Приемец, 2024). Қалалық ортадағы сәулеттік дизайнның ерекшелігі бойынша жұмыстар қарастырылды (Тұяқаева А.Қ., Данибекова Е.Т., Абдрасилова Г.С., Онищенко Ю.В., 2023).

Жұмыста Қазақстан қалаларының сәулеттік-жоспарлау трансформациясының тенденциялары (Астананы мысалға ала отырып) бойынша жұмыстар қарастырылған (Абилов А.Ж., 2016).

Шетелдік авторлардың қала көшелерінің кеңістіктік жоспарлауына арналған еңбектерінде әлеуметтік қажеттіліктерді ескеретін мәселелер қарастырылады (Lian, H., Li, G., 2023; H. Lian, X. Li, W. Zhou et al. (2025).

Тұрғындардың мүдделерін сақтай отырып, қаланы дамыту әлеуеті және жаяу жүргіншілер кеңістігінің маңыздылығы Ян Гейл кітабында талқыланады. Қаладағы жаяу жүргіншілер қозғалысының маңыздылығы, жаяу жүргіншілер мен велосипедшілерге арналған кеңістіктерді түрлендіру арқылы көрінеді (Ян Гейл, 2012).

Астана халқының өсімі туралы деректер зерттелді (Жаркенова, А.М., 2018 ж.). Зерттеу барысында қаланың функционалдық аймақтарын анықтайтын 1960 жылдардағы бас жоспарлар қарастырылды. Жұмыс барысында әлеуметтік инфрақұрылым нысандарын орналастырудың тарихи ерекшеліктері анықталды.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Мақаланы дайындау кезінде Астана қаласының (Ақмола) әлеуметтік инфрақұрылым нысандарының тарихи дамуын талдауды қамтыды.

Мақалада қаланың тарихи ғимараттарын аралауды қамтитын далалық зерттеу әдісі қолданылды. Зерттеу Астананың тарихи орталығындағы әлеуметтік инфрақұрылым нысандарына арналды. Нысандардың орналасуының мәні қалалық құрылымда көрінеді. Қала аумағының дамуы қаланың қоғамдық орталығын жақсартуға мүмкіндік берді. Мақаланы дайындау кезінде тарихи қоғамдық ғимараттарға талдау жүргізілді. Тарихи нысандарды көрсету үшін автор фотосуреттер түсірді.

Тарихи орталық әкімшілік, коммерциялық және мәдени мақсаттарға арналған қоғамдық ғимараттарды қамтиды. Тарихи ғимараттардың сараптамасы бас жоспарлардың маңыздылығын растады.

Қала аумағын функционалдық аймақтарға бөлуді ескере отырып, әлеуметтік инфрақұрылым нысандарының құрылысына сараптама жүргізуге мүмкіндік берді. Әлеуметтік инфрақұрылым нысандарын зерттеу отандық және халықаралық ғалым-дардың еңбектеріне шолуды қамтыды.

Салыстырмалы талдау нәтижесінде қаладағы 1965-85 жылдардағы әкімшілік-мәдени нысандардың орналасуы анықталды. Жұмыста қоғамдық ғимараттар құрылысының қалалық құрылымға әсері зерттелді.

Тарихи ғимараттарды сараптау мәліметтерді қорытындылар мен әлеуметтік инфрақұрылым нысандары бойынша ұсыныстарға біріктірудің маңыздылығын көрсетті.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Солтүстік Қазақстандағы әлеуметтік инфрақұрылым қалалардың тұрақты өсуі жағдайында дамуын жалғастырды. 1970-1980 жылдары ауыл мен қаланың көріктендіру арасындағы алшақтықты азайту және кешенді дамыту қажеттілігі басымдыққа ие болды. Құрылыста темірбетон конструкциялары, панельді үйлер, блокты үйлер көбірек қолданыла бастады. Қайта құру өнеркәсіпті де, ауыл шаруашылығын да қамтыды, ол технологиялық жетістіктер мен өнімділіктің артуына байланысты болды. Осы шаралардың арқасында Қазақстанда өнеркәсіп өнімінің өсімі жетінші бесжылдықтағы 48%-дан тоғызыншы бесжылдықтағы 76 %-ға дейін өсті.

Бас жоспарларды әзірлеу әлеуметтік инфрақұрылым объектілерін қаланың жоспарлау құрылымына орналастыруға әсер етті. 1957 жылы «Казгипрогорсельстрой» институты (бас сәулетшісі Е. Дятлов) қаланың бас жоспарын жасап, қала кварталдарын үлкейтіп, көше-жол желілерін жақсартты. Желді және санитарлық-гигиеналық талаптарды ескере отырып, «Қазақсельмаш» зауытынан, насос зауытынан, газ жабдықтары зауытынан басқа, темір жолдан тысқары, өндірістік және қоймалық аймақта жұмыс орындары – зауыттар салу жоспарланды.

Осы жылдары әлеуметтік инфрақұрылым нысандары: Теміржолшылар қоғамдық орталығы (Қ.Байсейітова атындағы опера театры), «Ишим» қонақ үйі, Омарова көшесінің бойындағы әкімшілік ғимараттар салынды. Бас жоспардың тарихи-сәулеттік-анықтамалық жоспар бөлімінде Кенесары көшесі (алаңнан Қ. Мұңайтпасов атындағы стадионға дейін) және Ақжайық көшесінің бойындағы (Бейбітшілік көшесінен Сарыбұлақ бұлағына дейін) аталған мүліктер мен ғимараттар мемлекеттік қорғауға ұсынылды. Ол 1940 және 1950

жылдардағы Ақмоланың қалалық ортасының ерекше келбетін сақтау үшін жаңа даму құрылымына қасиеттерді енгізуді көздеді.

1961 жылы Ақмола Целиноград болып өзгертілді. 1961 жылы Целиноград қаласына облыстың жер өңдеу астанасы мәртебесі берілуімен жобалық-құрылыс жұмыстары белсенді түрде басталды. 1963 жылы Бас жоспарды сәулетші Г. Гладштейннің жетекшілігімен «Ленгорстройпроект» шығармашылық ұжымы әзірледі. В. Шквариков ғылыми жетекші болды.

Қаланың аумақтық дамуы 1930 жылдардағы Н.Милютиннің ағынды-функционалдық жоспарлау схемасына негізделді. Схема қала аумағын параллельді функционалдық аймақтарға бөлуді көздеді:

1) өндірістік, қоймалық және коммуналдық аймақ;
2) темір жолдар;
3) тұрғын үй аймағы;
4) саябақ және рекреациялық аймақ;
5) қала маңындағы ауыл шаруашылығы аймағы.

Схемада темір жол бойындағы өндірістік аймақтың орналасуын анықтайтын ауданның жер бедері, гидрографиясы, табиғи-климаттық ерекшеліктері ескерілді. Елді мекендер өзеннен саябақтар белдеуі арқылы бөлініп, Сол жағалау ауылшаруашылық аймағы ретінде жоспарланған.

Бас жоспарларды құру функционалдық аймақтарды дамытуды және кварталға бөлуді біріктірді. Бас жоспарды әзірлеудің кешенді тәсілін әзірлеу қаланың орталық көшелерінің бойындағы қоғамдық ғимараттарды жобалауды жеңілдетті. Қала орталығындағы әкімшілік және мәдени мекемелер 1965-1985 жылдар аралығында салынды. Нысандардың мұндай орналасуы тұрғындардың ғимараттарды пайдалану жиілігімен анықталады. Ғимараттардың орналасуы халыққа қызмет көрсету саласындағы сапасына әсер етті. 1960 жылы қала халқының саны 129 000 болды (1-кесте). Елордалық халқы көп қалада объектілерді пайдалану жиілігіне қарай жобалау қызметтерге қолжетімділікті қамтамасыз етеді.

Елдегі қала халқы тоғызыншы бесжылдықта 54 %-ға дейін өсті, кеңестік интеллигенцияның саны артты, колхоз шаруаларының қоғамдық белсенділігі артты. Бұл кезеңде Екібастұз, Рудный, Лисаковск, т.б қалалар пайда болды.

Жергілікті шикізат негізінде өзара байланысты өндірістік кешендердің дамуы қаланың әлеуметтік инфрақұрылымы мен қоныстану үлгілерінің қалыптасуына әсер етті. 1920-1980 жылдар аралығында Павлодар-Екібастұз аумақтық өндірістік кешені деген атпен белгілі, оның ықпал ету аймағында қалалар мен ауылдар бар өнеркәсіп орталығы құрылды. Арқалық қаласы түсті металдар төңірегінде дамыса, Рудный, Лисаковск және басқа да қара металдар өндірді. Степногорск қаласы ғылыми-өндірістік орталық ретінде дамыды.

1965-1985 жылдар Ақмола (Астана) қаласының сәулеттік дамуымен және қала алаңдарын құрумен байланысты болды. Кезеңге тән қасиет қалалардың тарихи орталықтарында ірі қалалық ансамбльдердің құрылуы сияқты қала құрылысы қызметі болды. Санкт-Петербургтің үш алаң негізделген дизайн принциптерін қолдану қоғамдық ғимараттар мен алаңдарды тұрғындардың өміріне органикалық түрде біріктіруге мүмкіндік берді. Тарихи орталықта әлеуметтік инфрақұрылым нысандарының салынуы қалалық қызмет көрсету мекемелерінің дамуын қалыптастырды.

Зерттелетін кезеңде Ақмола (Астана) қаласында үш алаң принциптерін пайдаланатын біртұтас сәулеттік ансамбльге қол жеткізілді. Ол жүйе үздіксіз жалғанған алаңдар мен жасыл жаяу жүргіншілер аймақтары бар қаланың жаңа көрінісін көздеді. Ескі орталықтағы алаң бірдей көлемдегі ғимараттармен аяқталды, «Жастар» сарайының алдындағы алаң орталық даңғылдың (Республика даңғылы) іргетасында, ал Кеңестер

сарайының артында қоғамдық бақ салынды. Қарастырылған кезең үш деңгейлі сервистік жүйе шеңберінде тарихи орталық көрнекті болып табылатын әлеуметтік инфрақұрылым нысандарының құрылысымен сипатталады.

Қаланың әкімшілік орталығын 1970-1980 жылдары Целингорсельпроект жобалаушылары (В.Тоскин, Е. Мержиевский, Е. Карпенко) мұқият жобалаған. Алаң бір қабатты жасыл сауда аркадаларының орталық әмбебап дүкен ғимаратына ауыстырылуымен және «Целингипросельхоз» жобалау институтына 16 қабатты ғимараттың қосылуымен үйлесімді келбетке ие болды. В.И. Ленин ескерткіші ғимаратының алдына қойылды.

Алаң үш бөлікке бөлінді: Целинников сарайының алдындағы көлік қозғалысы үшін Кенесары Қасымов көшесіне апаратын жері; демалу үшін субұрқақтармен және орындықтармен абаттандырылған орталық әмбебап дүкен ғимаратының алдындағы жері; Кеңестер үйі мен қонақ үй арасындағы іс-шараларға арналған кеңістік. «Ишим» қонақ үйі де алаңға сән-салтанат қосты.

1960 жылдары үйлердің құрылысы әдеттегі бес қабатты сыртқы көрініспен сипатталды. 1970 жылдары қаңқалы тұрғын үй құрылысының дамуы арқасында 8-12 қабатты үйлер тұрғызылып, үйлер арасында басым сипатқа ие болды.

Көрнекті, мәнерлі әлеуметтік инфрақұрылым нысандары салынды: Жастар сарайы (сәулетші А. Полянский), Салтанат сарайы (В. Драгун, В. Тоскин, Е. Погуца), Пионерлер сарайы (В. Тоскин, В. Корнилов, Е. Погуца, В. Гладких), «Турист» қонақ үйі (В. Тоскин, В. Корнилов, Е. Погуца, А. Башимов), «Целингипросельхоз» ғимараты (В.Ф. Тоскин, В.С. Драгун, В.И. Корнилов, В.И. Ульянов), Целиноград ауыл шаруашылығы институтының әкімшілік-зертханалық корпусы, иіру және жіп фабрикасы (1-сурет).



1-сурет. Астана қаласының тарихи алаңы, «Жастар» сарайы ғимараты
Ескерту – фотосуретте автор Сарсембаева Д.Е. 2024 ж. түсірген ғимараттардың заманауи көрінісі көрсетілген

1965-1985 жылдар аралығында Жастар сарайы мен «Турист» қонақ үйдің салынуы қаланың үлкен магистралі бойындағы ауданның дамуына әсер етті. Әлеуметтік инфрақұрылым нысандары көпшілік демалу үшін қалалық кеңістіктің маңыздылығын

атап өтіп, алаңның өзегін құрады. Қала аумақты абаттандыру бес қабатты тұрғын үйлермен қатар үйлесімді шешім тудырды.

1965-1985 жылдар аралығында қала оңтүстік-шығыс бағытта дамыды. Алайда қызмет көрсету нысандары (спорт кешендері, театрлар, әмбебап дүкендер) әрбір шағын ауданда салынбаған. Мұңайтпасов пен Абылай хан көшелерінің арасындағы аумақта шағын аудандар салынды. Шағын аудандарда қала орталығынан алыс орналасқан оқу орындары (университеттер) орналасты.

1-кесте. Астана қаласы халқының санының өзгеруі

Жыл	1954	1960	1989
Халқының саны, мың адам	77,0	129,0	281,0
Ескерту – автор (Жаркенова А.М., 2018) негізінде құрастырған			

Үш деңгейлі қызмет көрсету жүйесі қағидалары негізінде әлеуметтік инфрақұрылымның қалыптасуына келесі шаралар әсер етті:

– жекелендірілген шағын аудандарды дамыту;

– қызмет көрсету нысандарының құрылысы тек қала орталығында ғана жалғасты.

1970-1985 жылдар аралығындағы алаңдар мен көшелер ансамблін ұйымдастыру бойынша жобалық-құрылыс жұмыстары Солтүстік Қазақстан қалаларындағы орталық алаңдардың дизайнына әсер етіп, кең функциялы қоғамдық орталықтарды құрды. Әрбір шағын аудан жаңа функционалдық бағыттары бар (бөлшек сауда, спорт, мәдениет және медицина) ғимараттарды салу арқылы өзіндік ерекшелігін дамытты. Қала шекараларының аумақтық кеңеюі сонымен қатар қала орталығының қызмет көрсетушілерін шағын аудандардан бөліп, осы нысандарға бару уақытын көбейтті. Шағынаудандар ішінде шағын орталықтарды және кең ауқымды қызмет түрлерін ұсынатын шағын аудандардағы қоғамдық орталықтар керек болды. Сол кезде көптеген нысандар ірі магистральдар жанында салынды. Солтүстік Қазақстанның қала құрылысы құрылымы сызықтық үлгімен сипатталуын жалғастырды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қалалық аумақтарды қалыптастыру кезінде әлеуметтік инфрақұрылымды дамытудың тарихи тәжірибесін ескеру маңызды. Әлеуметтік инфрақұрылым нысандары қызмет көрсетіп қана қоймай, қаланың және оның кеңістігінің келбетін қалыптастырады.

1965-1985 жылдар аралығындағы қаланың әлеуметтік инфрақұрылымын зерттеу нәтижесінде ерекшеліктері анықталған:

– қала шекарасының айтарлықтай кеңеюі;

– қала халқының саны 129 000-нан 281 000 адамға өсті (Астана) (1-кесте);

– урбанизацияның өсуі;

– өндіріс көлемін ұлғайту;

– шағынаудандар құрылысында қоғамдық ғимараттарды көбейту;

– ірі қызмет көрсету мекемелерінің құрылысы қала орталығында дамуы.

Әлеуметтік инфрақұрылым бойынша орталық көшелерде құрылыс жұмыстары байқалды. Қаланың жоспарлау құрылымы оңтүстік-шығыс бағытта жаңа учаскелердің дамуымен кеңейтуге мүмкіндік берді. Қалалық орталықтың негізгі қызмет көрсету мекемелері шет шағын аудандардан алыс болды.

1965-1985 жылдар аралығындағы әлеуметтік инфрақұрылым сәулетінің дамуы тарихи оқиғалардың әсерінен мынадай сипаттамаларды дамытты: қаланы кварталдар мен шағын аудандарға бөлу қызмет көрсетудің деңгейлік жүйесінің принциптерін қолдануға

мүмкіндік берді; орталық алаңның дизайны қаланың ірі мекемелерін құрды. Қаланың қызмет көрсету жүйесі 129 000 халқы бар үлкен қала үшін дамыды. Кейіннен қала кеңейіп, халық саны көбейген сайын қала орталығындағы нысандардың маңызы арта түсті.

МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Автор мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.
ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Бұл зерттеу автордың жеке қаражатына жүргізілді.
АЛҒЫС БІЛДІРУ: Автор мақаланың сапасын арттыруға атсалысқан анонимді рецензенттерге алғысын білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Ғылыми мақаланың авторы өз еңбектерін дайындау барысында жасанды интеллект (ЖИ) құралдарын әртүрлі кезеңдерде, соның ішінде мәтін жазу, редакциялау, фактілерді тексеру және деректерді талдау кезінде қолданбады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Deniz Avci-Hosanli, Cansu Degirmencioglu.(2024). From "prototype" to model: Architectural and spatial development of Block A(1924-1945) of Istanbul's Heybeliada Sanatorium // Frontiers of Architectural Research 13, 1-20 (2024), DOI: https://doi.org/10.1016-/j.foar.2023.09.006

H. Lian, X. Li, W. Zhou et al. (2025) Pedestrian vitality characteristics in pedestrianized commercial streets-considering temporal, spatial, and built environment factors // Frontiers of Architectural Research,14, 630-653 (2025), DOI: https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.10.006

Kornilova A.A., Khorovetskaya Ye.M., Sarsembayeva D.Ye. et al. (2019). Territory Management: Urban Planning and Recreational Planning of Populated Areas in the Republic of Kazakhstan in the Second Half of the 20th Century // Journal of Environmental Management and Tourism, 10(6), 1295-1302 (2019), DOI: https://doi.org/10.14505//jemt.v10.6(38).11

Kuspangaliyev B.U., Samoilov K.I., O.N. Priemets.(2024). The spatial development of the Khoja Ahmed Yasawi complex in Turkestan features// QazBSQA Хабаршысы. Сәулет және Құрылыс. 2 (92)-С.122-135., https://doi.org/10.51488/1680-080X/2024.2-09

Lian, H., Li, G., (2023). Correlation analysis of retail space and shopping behavior in a commercial street based on space syntax: a case of shijiazhuang, China // Buildings 13 (11), 2674,2-32 (2023), https://doi.org/10.3390/buildings13112674

Yixing Duan, Da Lu, Lanchun Bian.(2024). New method of evaluating spatial quality for innovation ditricts: A case study of Haidian and Chaoyang districts, Beijing //Frontiers of Architectural Research 13, 1288-1307 (2024), DOI: https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.09.002

Абилов А.Ж. (2016). Некоторые тенденции архитектурно-планировочной трансформации городов Казахстана в постсоветский период (на примере Астаны) // Муниципалитет: экономика и управление. № 1(14). С. 16–23. // Abilov A.Zh. (2016). Nekotorye tendentsii arkhitekturno-planirovochnoi transformatsii gorodov Kazakhstana v postsovetskii period (na primere Astany) [Some trends in architectural and planning transformation of cities of Kazakhstan in the post-Soviet period (case of Astana)] // Municipalitet: ekonomika i upravlenie. No. 1(14). Pp. 16–23. (In Russ.).

Глаудинов Б.А. (1999). История архитектуры Казахстана. Алматы: КазГАСА, 295 с. // Glaudinov B.A. (1999). Istoriya arkhitektury Kazakhstana [History of Architecture of Kazakhstan]. Almaty: KazGASA, 295 p. (In Russ.).

Жаркенова А.М. (2018). Полиэтнический состав населения Северного Казахстана в конце XIX – начале XXI вв.: исторические особенности, современные тенденции и перспективы // Вестник Карагандинского университета. № 4(92). С. 60–69. // Zharkenova A.M. (2018). Polietnicheskii sostav naseleniya Severnogo Kazakhstana v kontse XIX – nachale XXI vv.: istoricheskie osobennosti, sovremennye tendentsii i

perspektivy [Polyethnic composition of the population of Northern Kazakhstan in the late 19th – early 21st centuries: historical features, current trends and prospects] // Vestnik Karagandinskogo universiteta. No. 4(92). Pp. 60–69. (In Russ.).

Каракова Т.В., Сарсембаева Д.Е. (2018). Предпосылки в развитии социальной инфраструктуры отечественных и зарубежных городов // Постиндустриальная среда российских мегаполисов: сб. ст. Самара: СамГТУ. – С. 34-39. // Karakova T.V., Sarsembayeva D.E. (2018). Predposylki v razvitii sotsial'noi infrastruktury otechestvennykh i zarubezhnykh gorodov [Prerequisites for the development of social infrastructure of domestic and foreign cities] // Postindustrial'naya sreda rossiiskikh megapolisov: collection of papers. Samara: SamGTU. Pp. 34-39. (In Russ.).

Коган Л.Б. (1982). Социально-культурные функции города и пространственная среда. Москва, 176 с. // Kogan L.B. (1982). Sotsial'no-kul'turnye funktsii goroda i prostranstvennaya sreda [Socio-cultural functions of the city and spatial environment]. Moscow, 176 p. (In Russ.).

Тоскина В.В. (2002). Эволюция архитектурно-планировочной структуры: на примере Акмолинской области: автореферат дис. … канд. техн. наук. Новосибирск, 28 с. // Toskina V.V. (2002). Evolyutsiya arkhitekturno-planirovochnoi struktury: na primere Akmolinskoi oblasti: abstract of PhD thesis [Evolution of architectural and planning structure: the case of Akmola region]. Novosibirsk, 28 p. (In Russ.).

Туякаева А.К., Данибекова Э.Т., Абдрасилова Г.С., Онищенко Ю.В. (2023). Региональная идентичность в архитектуре жилой застройки 1930–1990-х гг. города Караганда // QazBSQA Хабаршысы. Сәулет. № 4(90). С. 62–76. // Tuyakaeva A.K., Danibekova E.T., Abdrasilova G.S., Onishchenko Yu.V. (2023). Regional'naya identichnost' v arkhitekture zhiloi zastroiki 1930–1990-kh gg. goroda Karaganda [Regional identity in residential architecture of Karaganda (1930s–1990s)] // QazBSQA Khabarshysy. Saulet. No. 4(90). Pp. 62–76. https://doi.org/10.51488/1680-080X/2023.4-05 (In Russ.).

Чекаев Ф.М. (2009). Истоки и эволюция архитектуры Астаны (Акмолы) 1830–1991 годов: автореферат дис. … канд. архитектуры. Алматы, 30 с. // Chekaev F.M. (2009). Istoki i evolyutsiya arkhitektury Astany (Akmoly) 1830–1991 godov: abstract of PhD thesis [Origins and evolution of the architecture of Astana (Akmola), 1830–1991]. Almaty, 30 p. (In Russ.).

Гейл Я. (2012). Города для людей. Москва: Крост, 276 с. // Gehl J. (2012). Goroda dlya lyudei [Cities for People]. Moscow: Krost, 276 p. (In Russ.).

Автор туралы мәліметтер
Информация об авторе
Information about author



Сарсембаева Динара Ержановна – «Сәулет» мамандығы бойынша PhD докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

Сарсембаева Динара Ержановна – доктор PhD по специальности «Архитектура», Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Sarsembayeva Dinara Yerzhanovna – Doctor PhD in the specialty «Architecture», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

e-mail: dinara5431@mail.ru

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4558-0876

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_8
SRSTI 67.07.03

ARCHITECTURE OF THE CENTERS OF FOLK CRAFTS OF KAZAKHSTAN

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ХАЛЫҚ КӘСІПШІЛІГІ ОРТАЛЫҚТАРЫНЫҢ СӘУЛЕТІ

АРХИТЕКТУРА ЦЕНТРОВ НАРОДНЫХ ПРОМЫСЛОВ КАЗАХСТАНА

U.N. Ismagulov [1], **K.K. Arynov** [1], **A.M. Saurbayeva** [1]*
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
*Corresponding author: Saurbayeva Asemgul Muratovna, e-mail: saurbayeva_am_1@enu.kz

Keywords:
Architecture, folk crafts, functional organisation, architectural typology, cultural and educational infrastructure, integration of traditional and modern design.

ABSTRACT
The article discusses the architectural and functional planning features of folk craft centres in the Republic of Kazakhstan as cultural and educational infrastructure facilities. The aim of the study is to identify and systematise the architectural, planning and typological principles of craft centre development based on a comparative analysis of domestic and international experience. The study identifies stable functional zones and spatial relationships that ensure effective interaction between production, educational, exhibition and public functions. Based on the analysis, three basic typological models of folk craft centres have been identified: a compact year-round centre, a pavilion-cluster craft complex, and an adaptive multifunctional space. Each model is considered in terms of its architectural and planning structure, functional organisation, and applicability in various urban and regional conditions. Particular attention is paid to the unification of architectural solutions, taking into account national, regional, and historical and cultural characteristics. The article also reveals the socio-cultural role of folk craft centres as institutions for the preservation of intangible cultural heritage, the transfer of traditional knowledge, and the development of the creative economy. It is shown that a modern craft centre should function not only as a production base, but also as a multifunctional public space that facilitates interaction between craftsmen, students and visitors. The results obtained can be used in the development of architectural and planning standards, the design of folk craft centres, and the formation of regional programmes for sustainable cultural development.

Түйінді сөздер:
Сәулет, халықтық қолөнер, функционалды ұйымдастыру, сәулет типологиясы, мәдени-білім беру инфрақұрылымы,

ТҮЙІНДЕМЕ
Мақалада мәдени-білім беру инфрақұрылымының объектілері ретінде Қазақстан Республикасының Халық қолөнері орталық-тарының сәулеттік және функционалдық-жоспарлау ерекшеліктері қарастырылады. Зерттеудің мақсаты-отандық және халықаралық тәжірибені салыстырмалы талдау негізінде қолөнер орталықтарын қалыптастырудың архитектуралық-жоспарлау және типологиялық принциптерін анықтау және жүйелеу. Зерттеу барысында өндіріс-

© 2026 **U.N. Ismagulov, K.K. Arynov, A.M. Saurbayeva**
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

дәстүрлі және заманауи дизайнды біріктіру.

тік, білім беру, Көрме және қоғамдық функциялардың тиімді өзара іс-қимылын қамтамасыз ететін тұрақты функционалдық аймақтар мен кеңістіктік өзара байланыстар анықталды. Талдау негізінде халықтық қолөнер орталықтарының үш негізгі типологиялық моделі анықталды: жыл бойына жинақы орталық, павильон-кластерлік қолөнер кешені және бейімделгіш көпфункционалды кеңістік. Әрбір модель оның архитектуралық-жоспарлау құрылымы, функционалды ұйымдастырылуы және әртүрлі қала құрылысы мен аймақтық жағдайларда қолданылуы тұрғысынан қарастырылады. Ұлттық, өнірлік және тарихи-мәдени ерекшеліктерді ескере отырып, сәулет шешімдерін біріздендіру мәселелеріне ерекше назар аударылады. Мақалада сонымен қатар материалдық емес мәдени мұраны сақтау, дәстүрлі білімді беру және креативті экономиканы дамыту институттары ретінде халықтық қолөнер орталықтарының әлеуметтік-мәдени рөлі ашылады. Қазіргі заманғы қолөнер орталығы тек өндірістік база ретінде ғана емес, сонымен қатар шеберлердің, білім алушылар мен келушілердің өзара әрекеттесуін қамтамасыз ететін көпфункционалды қоғамдық кеңістік ретінде де жұмыс істеуі керек екендігі көрсетілген. Алынған нәтижелер сәулет-жоспарлау стандарттарын әзірлеуде, халықтық қолөнер орталықтарын жобалауда және тұрақты мәдени дамудың аймақтық бағдарламаларын қалыптастыруда қолданыла алады.

Ключевые слова:
Архитектура, народные промыслы, функциональная организация, архитектурная типология, культурная и образовательная инфраструктура, интеграция традиционного и современного дизайна.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются архитектурные и функционально-планировочные особенности центров народных ремесел Республики Казахстан как объектов культурно-образовательной инфраструктуры. Цель исследования заключается в выявлении и систематизации архитектурно-планировочных и типологических принципов формирования ремесленных центров на основе сравнительного анализа отечественного и международного опыта. В ходе исследования определены устойчивые функциональные зоны и пространственные взаимосвязи, обеспечивающие эффективное взаимодействие производственных, образовательных, выставочных и общественных функций. На основе проведённого анализа выделены три базовые типологические модели центров народных ремесел: компактный круглогодичный центр, павильонно-кластерный ремесленный комплекс и адаптивное многофункциональное пространство. Каждая модель рассматривается с точки зрения её архитектурно-планировочной структуры, функциональной организации и применимости в различных градостроительных и региональных условиях. Особое внимание уделяется вопросам унификации архитектурных решений с учётом национальных, региональных и историко-культурных особенностей. В статье также раскрывается социально-культурная роль центров народных ремесел как институтов сохранения нематериального культурного наследия, передачи традиционных знаний и развития креативной экономики. Показано, что современный ремесленный центр должен функционировать не только как производственная база, но и как многофункциональное общественное пространство, обеспечивающее взаимодействие мастеров, обучающихся и посетителей. Полученные результаты могут быть использованы при разработке архитектурно-планировочных стандартов, проектировании центров народных ремесел и формировании региональных программ устойчивого культурного развития.

INTRODUCTION

The development of folk craft centres in the Republic of Kazakhstan is a pressing task, driven by the need to preserve, revive and update traditional forms of decorative and applied art. Folk crafts are an essential component of intangible cultural heritage, reflecting the historical experience, worldview and artistic traditions of society. In the context of globalisation, urbanisation and industrial standardisation, traditional crafts in many countries are losing their natural social and spatial environment, shifting to the sphere of museum exhibitions or episodic festival practices. Researchers in the field of cultural heritage note that such a transformation weakens the processes of intergenerational knowledge transfer and reduces the sustainability of craft traditions (Jokilehto, 2005; Chatzigrigoriou P. et al., 2021). The decline in the number of practitioners of traditional craft skills poses a threat to cultural continuity and highlights the need to develop a specialised architectural infrastructure capable of supporting the "living" reproduction of crafts in modern conditions.

In this context, the creation of folk craft centres takes on particular significance. Such centres are seen as specialised cultural and educational infrastructure facilities that combine production, training, exhibition and public functions in a single architectural and planning space. Such complexes not only serve as workplaces for artisans and venues for the transfer of traditional knowledge, but also form public spaces integrated into the systems of cultural tourism and the creative economy. Foreign research in the field of cultural planning emphasises that the architecture of cultural and creative spaces plays a key role in shaping local identity and sustainable development of territories (Evans G., 2009; Montgomery J., 2003). Thus, craft centres act as multifunctional cultural hubs that promote social activity, educational processes and economic diversification in regions.

International experience demonstrates a steady trend towards the formation of specialised craft centres, craft villages and creative clusters that combine production, educational, exhibition and commercial activities. Within the framework of UNESCO's Creative Cities Network and the World Craft Cities programme, the architecture of such facilities is seen as a tool for creating a "living" cultural environment capable of adapting to contemporary socio-economic challenges and changing scenarios for the use of space (Evans G., 2009; Carr J & Dionisio M. R., 2017). For Kazakhstan, with its rich craft heritage and significant tourism potential, the task of developing architecturally sound models of folk craft centres applicable in various urban, regional and rural settings is particularly relevant.

Despite growing interest in the development of craft centres, an analysis of scientific publications shows that issues of architectural typology, functional and planning organisation, and spatial structure of such facilities remain insufficiently systematised, especially in the context of national architectural practice. Foreign studies on the flexibility of public cultural spaces emphasise the need for adaptive and transformable planning solutions capable of responding to diverse user scenarios and the evolution of functions over time (Carr J & Dionisio M. R., 2017; Liu C. et al., 2025). At the same time, the problem of architectural unification of craft centres — as the creation of generalised models that allow for variability and regional adaptation — remains understudied.

The subject of this study is the architectural, planning and typological characteristics of folk craft centres in Kazakhstan, considered in the context of their functional structure, spatial organisation and possibilities for architectural unification in the design of cultural and educational facilities.

The aim of the study is to identify and systematise the architectural, planning and typological principles of folk craft centres in Kazakhstan, as well as to formulate general approaches to their unification based on a comparative analysis of domestic and international experience.

To achieve this goal, the following tasks are set:

1. Analysis of the architectural prerequisites for the development of folk craft centres in Kazakhstan in the context of cultural and educational infrastructure;

2. Identification and classification of typological models of folk craft centres in various urban, regional and rural conditions;

3. Study the architectural and planning solutions of existing domestic and foreign folk craft centres through comparative analysis;

4. Identify recurring functional areas and spatial relationships characteristic of folk craft centres and their impact on the planning structure;

5. Formulate general architectural principles and approaches to the integration of folk craft centres based on a comparative analysis of domestic and international experience.

LITERATURE REVIEW

Research on the architectural organisation of craft-related and cultural facilities has been developed within several interconnected academic fields, including architectural typology, cultural and creative clusters, functional–planning theory, and heritage-oriented design. While the term “folk craft centre” is not always explicitly used in international literature, comparable spatial typologies are examined through studies of cultural districts, creative clusters, and public cultural buildings that integrate production, education, exhibition, and community functions.

Within urban studies and architectural theory, cultural and creative clusters are frequently analysed as spatially concentrated environments that combine creative production with public and cultural activities. A. Markusen and A. Gadwa (2010) emphasise that such clusters are characterised not only by economic concentration but also by specific spatial and architectural configurations that facilitate interaction between creators, visitors, and local communities. Similarly, A. J. Scott (2010) conceptualises the cultural economy as a spatial system in which architecture and urban form play a mediating role between cultural production and public consumption, reinforcing the importance of purpose-built or adapted cultural facilities.

From the perspective of architectural typology, cultural buildings that integrate multiple functions are often discussed in relation to public cultural infrastructure. Research in Environment and Planning highlights that cultural facilities increasingly combine productive, educational, and representational spaces within a single architectural structure, requiring new typological approaches that differ from traditional museum or workshop models (Markusen A., 2006). These studies underline the relevance of typological hybridity and spatial adaptability, which are directly applicable to the design of craft centres.

Issues of architectural typology and functional–planning organisation of craft-related and cultural buildings have also been addressed in the works of domestic researchers, particularly within the Soviet and post-Soviet architectural school. Research by K. K. Arynov (2022) examined the typology and planning principles of educational and production buildings for folk arts and crafts, focusing on the integration of training, production, and exhibition functions. Although these studies did not conceptualise folk craft centres as an independent architectural type, they laid the groundwork for understanding functional zoning and spatial relationships in craft-oriented facilities. Similar typological and planning issues were later developed in studies of cultural and club buildings, where craft workshops were considered as part of broader cultural infrastructure (Stepanchuk, 2016).

Functional–planning organisation and spatial logic constitute another significant research direction. Studies based on spatial configuration theory demonstrate that the effectiveness of public cultural buildings depends on the organisation of movement, visibility,

and functional adjacency. Although not focused exclusively on craft centres, space-syntax-based research shows how the arrangement of workshops, exhibition spaces, and public zones influences user behaviour and social interaction (Hillier B., Hanson J., 1989). This approach provides a theoretical foundation for analysing functional zoning and circulation patterns in craft-oriented facilities.

Architectural research related to cultural heritage further expands this discussion by addressing the role of space in sustaining cultural practices. In heritage studies, scholars argue that architecture can function as an active framework for cultural transmission rather than a passive container for artefacts. L. Smith (2006) introduces the concept of heritage as a cultural process, in which spatial settings enable practices, meanings, and social engagement. This idea has been developed further in architectural research that examines how buildings support "living heritage" by accommodating production, learning, and public participation within a unified spatial environment.

Recent studies on adaptive reuse and cultural infrastructure also contribute to understanding the architectural transformation of spaces for craft-related functions. Research published in Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development demonstrates that the conversion of existing buildings into cultural and craft facilities requires careful reorganisation of functional zones, balancing authenticity, flexibility, and contemporary use requirements (Bullen P. A. & Love P. E. D., 2011). Domestic researchers similarly highlight the potential of adaptive reuse of industrial and public buildings for cultural and creative purposes, emphasising the importance of flexible planning structures and modular spatial solutions (Amangeldikyzy, R. et al., 2023).

Overall, the reviewed literature confirms that both international and domestic research provide a substantial theoretical foundation for analysing the architectural typology and functional–planning organisation of craft-related cultural facilities. However, most studies address cultural clusters, creative spaces, or heritage buildings in a general sense, without focusing specifically on folk craft centres as a distinct architectural type. In addition, existing research rarely proposes unified functional–planning models adaptable to different regional and urban contexts. This gap underlines the need for systematic architectural research aimed at identifying typological models and developing unified planning principles for folk craft centres, particularly in relation to national conditions and cultural specificity, which constitutes the focus of the present study.

MATERIALS AND METHODS

The study is based on a qualitative architectural analysis aimed at identifying the typological and functional-planning principles of folk craft centres. The methodological basis combines comparative analysis, functional and planning assessment, and architectural typology, allowing us to trace the logic of spatial organisation and formulate generalised models applicable to different territorial contexts.

The first stage involved the selection of case studies. The objects were selected according to the following criteria:

– functional affiliation with craft, cultural or educational centres combining production, exhibition and public functions;

– availability of published architectural documentation, including plans, functional diagrams or authoritative architectural descriptions;

– compliance with contemporary practice.

As a result, a number of international and domestic examples were identified, including compact urban centres, pavilion complexes and large-scale craft clusters.

In the second stage, a comparative functional and planning analysis of selected case studies was conducted. Each object was evaluated according to a single set of parameters: type of implementation, planning scheme, availability and organisation of production workshops, educational function, exhibition or retail space. The results of this analysis were systematised in a comparative table, which made it possible to identify recurring spatial patterns, functional combinations, and planning solutions in various contexts.

The third stage involved typological generalisation. Based on a comparative analysis, the objects under study were grouped according to similarities in spatial structure, functional composition and scale. As a result of this process, three main typological models of folk craft centres were identified: a compact urban centre, a regional complex based on pavilions, and a modular rural centre. Typological classification was used as an analytical tool to identify sustainable architectural and planning characteristics, rather than to describe individual projects.

In the fourth stage, a unified functional and planning scheme was developed. This scheme was obtained by synthesising the recurring functional zones and spatial connections identified in the analysed examples. Particular attention was paid to the adaptability and versatility of the proposed scheme, as well as its applicability to various urban, regional and rural conditions in Kazakhstan. The resulting model reflects a balance between production, educational, exhibition and public functions and serves as a basis for future architectural design and standardisation.

Overall, the methodology used ensures the reproducibility of the research process and provides a consistent link between the analysis of existing architectural examples, the formulation of typological models and the development of practical architectural recommendations.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of foreign architectural case-studies

The Ruthin Craft Centre is one of the most representative examples of a modern craft centre focused on combining production, exhibition and educational functions (Ruthin Craft Centre, n.d.). The complex was renovated and expanded according to a design by Sergison Bates Architects, which specialises in the design of public and cultural buildings (Ruthin Craft Centre, n.d.). The centre is located in a small historic town and serves as a regional platform for supporting professional craftspeople.

As shown in Figure 1 the architectural and planning structure of the centre is based on the principle of a perimeter composition around an inner courtyard, which serves as a public hub. Individual workshops, galleries, exhibition spaces and educational facilities are located along the perimeter. This layout ensures stable visual and functional connections between areas, as well as a clear separation of flows: visitors move through the public galleries without disrupting the production processes inside the workshops.

A key feature of the facility is the high degree of transparency of the craft process: the workshops have glass facades, allowing visitors to observe the work of the craftsmen without direct interference. This architectural solution enhances the educational and demonstration functions of the centre, generating sustained tourist interest. At the same time, each workshop retains its autonomy and is designed to meet the technological requirements of a specific craft (lighting, ventilation, sound insulation).

Delhi Haat is an example of an open-air pavilion craft complex integrated into the urban structure of a metropolis (PDSA Studio, n.d.). The project was initiated by the Government of India with the participation of the Ministry of Textiles, Government of India as a permanent venue for displaying and selling traditional handicrafts from different regions of the country, as well as for supporting artisans through direct access to the market.

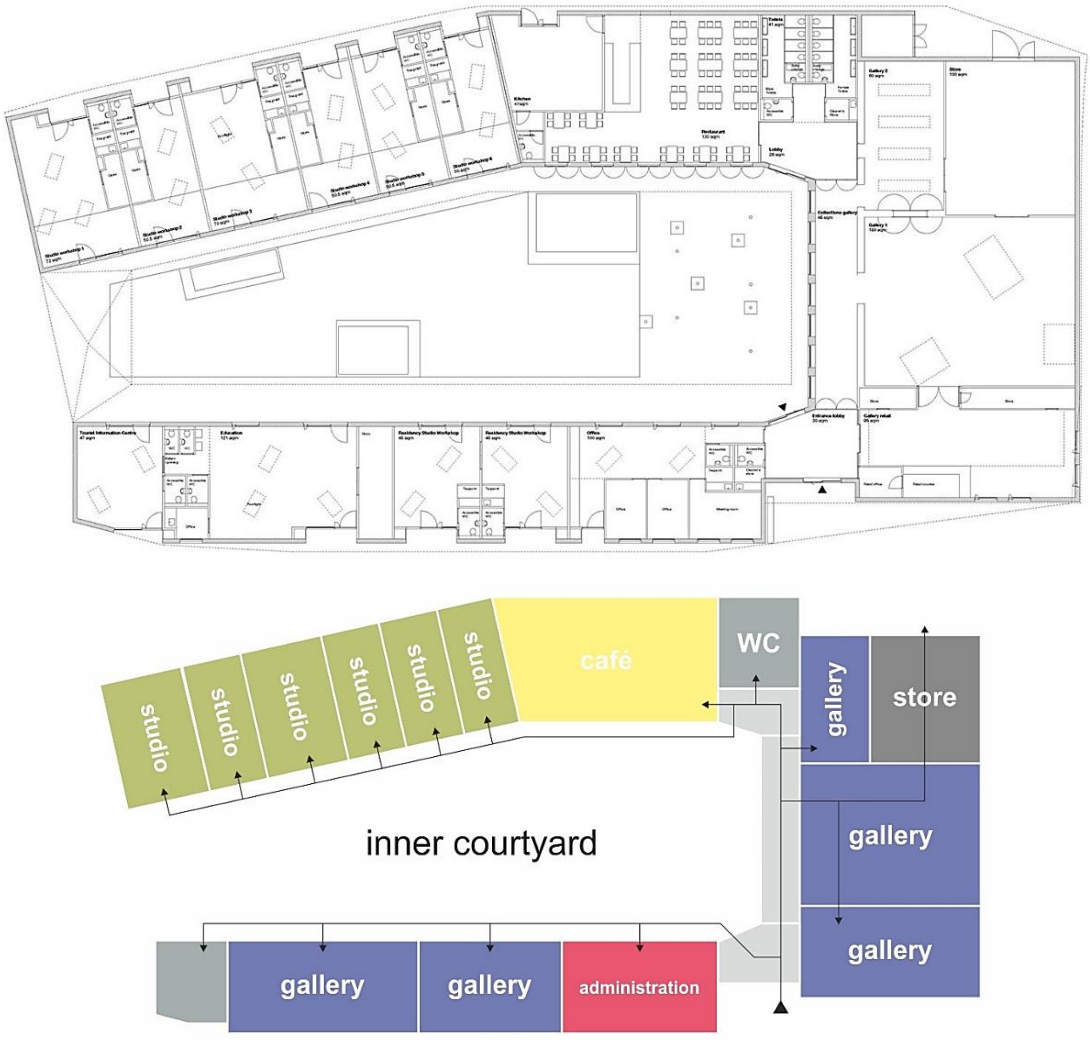


Figure 1. Functional zoning scheme of the Ruthin Craft Centre
Note – Compiled by the authors based on Sergison Bates Architects. (n.d.)

The layout (Fig. 2) of the complex is based on the principle of a craft village, where individual workshops and trading pavilions form a sequential route for visitors. The spaces are organised around open areas used for cultural events, festivals and gastronomic programmes. The architectural language of the complex is deliberately simplified and refers to regional building traditions, which enhances the effect of authenticity and visual identity.

From the point of view of functional and planning analysis, Delhi Haat demonstrates a model focused primarily on trade and demonstration functions with a limited educational component. Production processes are presented in a fragmented manner and are, as a rule, of a demonstrative nature. This allows us to consider this facility a successful example of a tourism-oriented craft space, but with limited potential for the systematic transfer of professional craft skills.

CNAD National Art, Crafts and Design Centre is an example of a compact crafts and design centre in which exhibition, educational and public functions are integrated into a single architectural and planning structure based on a reconstructed historic building and a new wing. The project was designed by Ramos Castellano Arquitectos and implemented as a public cultural facility in the central part of the city of Mindelo (CNAD National Art, Crafts and Design Center / Ramos Castellano Arquitectos, 2022, December 6).

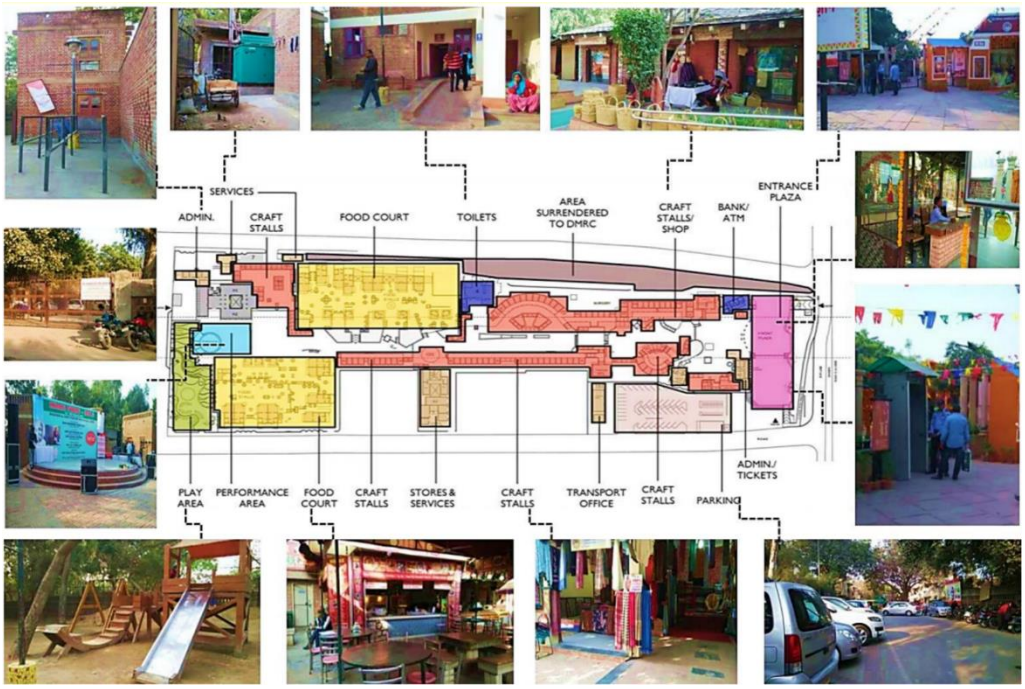


Figure 2. Functional zoning scheme of the Delhi Haat
Note – Compiled by the authors based on Gayathri, S. (2023)

As shown in Figure 3 the planning logic of the centre is built around a courtyard space (patio), which acts as a public core and provides connectivity between functions: the entrance area and public areas are oriented towards the square, while the exhibition and educational spaces form a 'ring' of interactions around the interior space. This composition allows for openness to visitors and the possibility of functional separation of flows, which is essential for craft and cultural-educational centres.

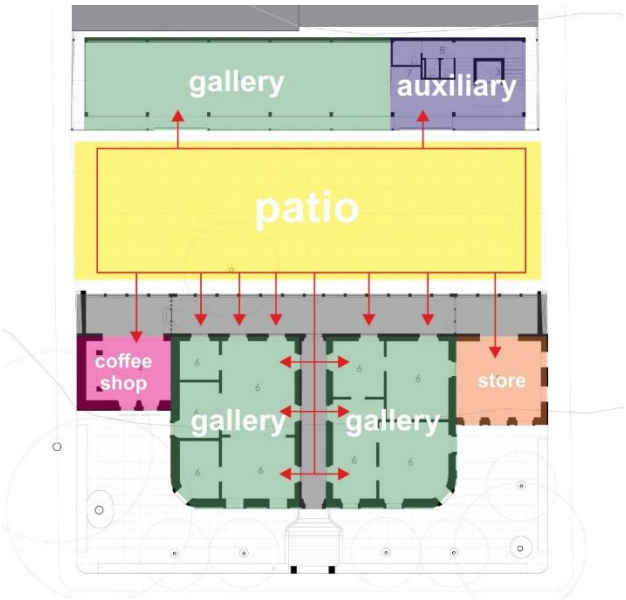


Figure 3. View of the courtyard at Ruthin Craft Centre (adapted by the authors)
Note – Compiled by the authors based on CNAD National Art, Crafts and Design Center / Ramos Castellano Arquitectos, 2022, December 6

The architectural shell of the new building is particularly significant: the façade is designed as an adjustable sun protection system that ensures light and air comfort and supports sustainable building operation principles (Ramos Castellano Arquitectos, n.d.). For the purposes of this study, the object is valuable as an example of a compact centre where functional integration is achieved through a clear spatial hierarchy (public core — exhibition and educational circuit — auxiliary functions) and a highly adaptable planning solution.

Analysis of domestic case-studies

The Schoolchildren's Palace in Astana is a completed cultural and educational complex, the architectural design of which has been published with planning diagrams and architectural solutions (Palace of Schoolchildren / Studio 44 Architects, 2019, March 8). Although the facility is not a specialised craft centre, it is typologically similar to the objects under study in terms of the principle of integrating educational, public and studio functions into a single architectural and planning structure. The functional zoning scheme (Fig. 4) of the building is based on the separation of a public core and functional blocks, including studio and training rooms, which allows it to be considered an example of a compact year-round centre.

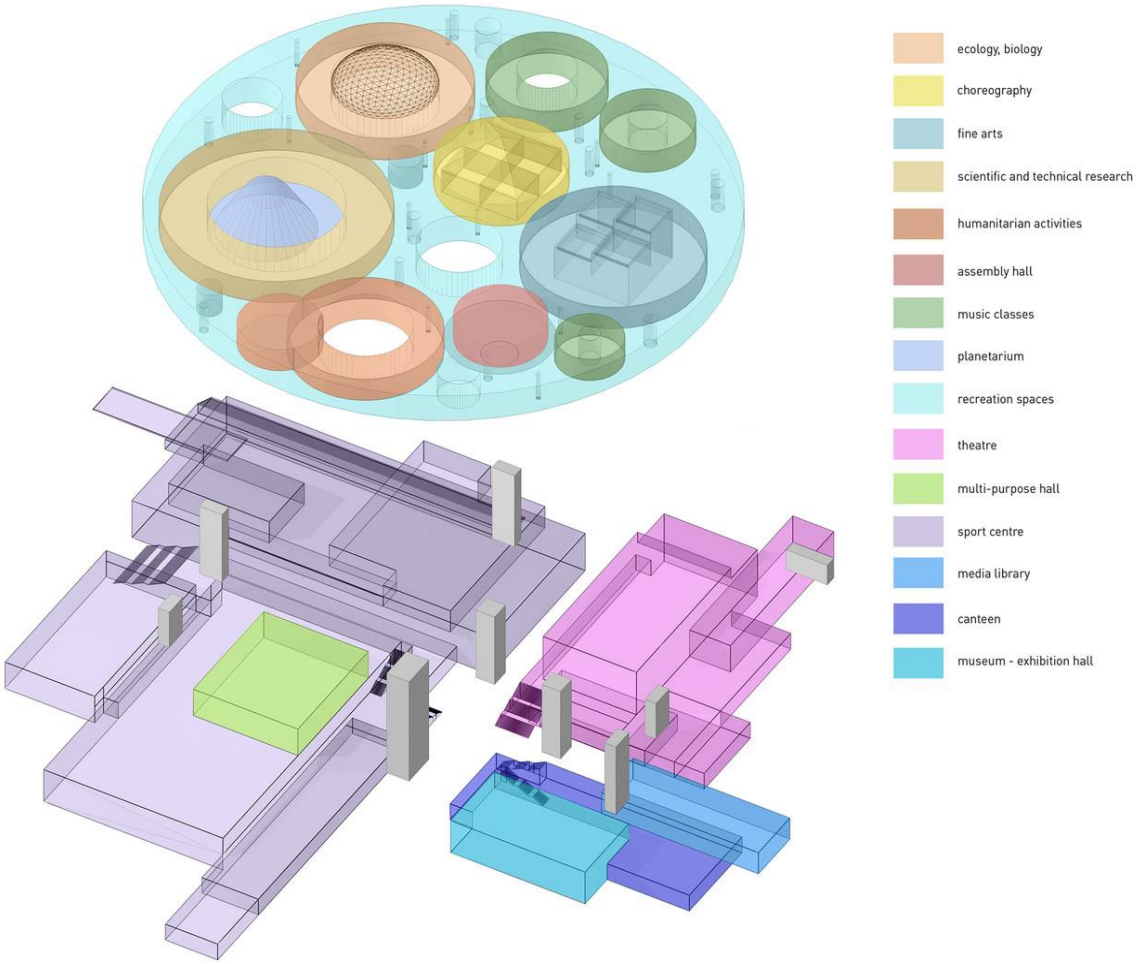


Figure 4. Functional zoning axonometry of the Palace of Schoolchildren

Note – Complied by the authors based on Palace of Schoolchildren / Studio 44 Architects, 2019, March 8

The use of this facility in the study allows us to analyse domestic experience in organising sustainable educational and creative spaces with a clear functional hierarchy and adaptive planning structure.

A new stage was marked by the construction of capital craft complexes as part of tourist clusters. A striking example is the recently opened Craftsmen's Town in the city of Turkestan (Fig. 5). This facility, officially launched in September 2025, is declared to be the centre of craftsmen of the entire Turkic world. Its creation coincided with Turkestan receiving the status of 'City of Craftsmen' from the World Crafts Council – the first in Central Asia (STAN.KZ, 2025). As can be seen from the example of Turkestan, a modern centre for folk crafts can reach the scale of a cultural and tourist cluster. The craftsmen's town is a 2.5-hectare complex comprising a number of different areas. It is reported that the complex consists of eight main functional areas and includes 20 workshops (for various types of crafts – felting, wool processing, weaving, ceramics, woodworking, leather, carpet weaving, etc.), exhibition halls, two showrooms for displaying and selling products, a restaurant, a hotel and other tourist infrastructure. Such a rich functional content turns the centre into a self-sufficient facility where craftsmen can not only work but also live during sessions (hotel), and visitors can spend the whole day learning about crafts and relaxing. The layout of the Turkestan craft town is divided into rows of workshops (probably forming a kind of 'craftsmen's street'), covered exhibition and fair spaces (an oriental bazaar), and service facilities. An important part of the complex are the open areas for events: during the opening, 100 potters simultaneously made jugs, and there were ethnic fashion shows and concerts (STAN.KZ, 2025). The architectural appearance of the complex is consistent with the historical context of Turkestan (probably with elements of traditional Eastern architecture, which would correspond to the status of the spiritual capital of the Turkic world).



Figure 5. Bird's-eye view of the craftsmen's town in Turkestan
Note – Compiled by the authors based on STAN.KZ (2025)

Functional and planning analysis shows that the Turkestan complex is primarily oriented towards mass visitors and cultural tourism. The educational function is mainly implemented through short-term master classes, which limits the potential for in-depth professional training. This example demonstrates the strengths of the pavilion-cluster model and at the same time highlights the need to balance the tourist function with sustainable craft production.

Comparative analysis of domestic and foreign analogues. A comparative analysis of domestic and foreign folk craft centres was carried out on the basis of a single set of criteria ensuring the comparability of the architectural, planning and functional characteristics of the facilities. The following analytical parameters were used: type of facility implementation (adaptation of an existing building or new construction), planning scheme, composition of functional areas, principles of organising visitor and craftsman flows, degree of demonstration of the craft process, operational model, and focus on tourist activities. For clarity and systematisation of the data obtained, the results of the comparison are presented in Table 1, which summarises the key characteristics of the analysed domestic and foreign analogues. The table allows us to trace the relationship between the architectural organisation of the facilities and their functional priorities.

Table 1. Comparative analysis of domestic and international craft centres

Craft centre / Object	Type of implementation	Planning scheme	Production (workshops)	Educational function	Exhibition / trade
Ruthin Craft Centre	Purpose-built cultural craft centre (reconstruction and extension)	Perimeter layout around internal courtyard	Permanent professional workshops	Formal education programs, studios	Permanent galleries and shop
CNAD National Art, Crafts and Design Center	Cultural craft centre based on adaptive reuse and new construction	Courtyard-based hybrid scheme (historic building + new volume)	Permanent professional workshops	Educational programs and workshops	Exhibition spaces integrated into public circulation
Delhi Haat	Government-initiated open-air craft complex	Pavilion-based open-air layout with linear pedestrian routes	Demonstrational and seasonal workshops	Limited (short-term master classes)	Strong emphasis on trade and craft fairs
Craftsmen's Town, Turkestan	Large-scale craft and tourism cluster	Pavilion-based clustered layout forming "craft	Permanent and demonstration workshops	Limited (mainly master classes)	Exhibition halls and market
Palace of Schoolchildren	Multifunctional cultural and educational complex	Compact block-based layout with central public core	Studio and workshop spaces adaptable for craft activities	Systematic educational programmes for children and youth	Systematic educational programmes for children and youth

Note – Compiled by the authors based on a comparative analysis of architectural descriptions, functional programmes and official information materials of domestic and international craft centres (Ruthin Craft Centre, CNAD National Art, Crafts and Design Center, Delhi Haat, Craftsmen's Town in Turkestan, and the Palace of Schoolchildren).

Comparison of layout plans and architectural solutions. An analysis of layout plans shows that the choice of spatial organisation for a folk crafts centre is directly related to its functional focus and operating mode. As can be seen from Table 1, foreign centres of an institutional type are mainly implemented in the form of compact block or perimeter schemes with an internal

courtyard, which ensures year-round operation, clear zoning and controlled interaction of visitors with the craft process. Pavilion and cluster layouts, typical of facilities focused on tourism and events, demonstrate a different logic of space organisation. In such complexes, workshops and shopping pavilions form a visitor route similar to street space, which increases the spectacle and audience engagement. However, as the comparison in Table 2 shows, such schemes require additional measures to ensure safety and climatic comfort and are less suitable for a systematic educational process. Domestic experience demonstrates the predominance of pavilion-cluster solutions in tourist areas and adapted spaces in urban conditions, which indicates the absence of a unified typological strategy and the need to develop one.

Table 2. Relationship between planning scheme and functional priorities

Planning scheme	Dominant functions	Advantages	Limitations
Compact block	Education, permanent production	Year-round operation, controlled environment	Limited expansion, complex separation of "clean" and "dirty" processes
Pavilion / cluster	Tourism, events, trade	High visibility, visitor engagement	Seasonal use, safety and climate constraints
Perimeter with courtyard	Exhibition, education, demonstrations	Clear orientation, public core, visual links	Requires larger site, higher construction cost
Note – Compiled by the authors based on a comparative synthesis of planning schemes and dominant functional characteristics identified in the analysed craft centres.			

Comparative analysis of the functional composition of centres. A comparison of functional content revealed a consistent set of areas present in most of the analysed facilities, but with varying degrees of development.

– A production area is mandatory in all cases, but its role varies. In foreign institutional centres (Ruthin Craft Centre, CNAD National Art, Crafts and Design Centre), workshops function as permanent workspaces for professional craftsmen. In pavilion complexes (Delhi Haat, Turkestan), workshops are often of a demonstration or mixed nature, geared towards short-term stays by craftsmen.

– The educational function is most fully represented in compact year-round centres, where there are separate classrooms and training programmes. In pavilion complexes, training is usually limited to master classes for visitors and does not form a sustainable system of knowledge transfer.

– An exhibition and trading area is present in all the facilities analysed and plays a key role in their economic sustainability. However, the analysis shows a difference in its location: in institutional centres, it is integrated into the public core of the building, while in cluster complexes it is often located in separate pavilions or open fairgrounds.

– Event and demonstration spaces (halls, stages, open areas) are critical for tourist-oriented centres. Their presence directly correlates with the scale of the facility and the intensity of visitor traffic.

Organisation of visitor flows and interaction with the craft process. One of the key analytical findings was the identification of different approaches to the organisation of visitor and craftsman flows. In foreign institutional-type centres, controlled interaction prevails: visitors have visual access to the craft process but do not disrupt the production regime. This is achieved through glazing, galleries, clearly defined routes and spatial separation. In pavilion complexes,

interaction is more direct: visitors can freely enter workshops, communicate with craftsmen and participate in the process. Analysis shows that this format enhances tourist appeal, but increases safety requirements and limits the possibility of complex or dangerous technological operations. For Kazakhstan, this conclusion is of fundamental importance: when developing standard solutions, it is necessary to determine in advance the permissible level of visitor involvement in the craft process and to design workshops and routes accordingly.

Interim analytical conclusions. A comparative analysis of domestic and foreign analogues allows us to formulate a number of key provisions:

– There is no universal planning scheme suitable for all contexts; the choice of model depends on climatic conditions, scale and functional priorities of the centre.

– Compact block and perimeter schemes demonstrate the greatest sustainability for year-round operation and educational functions.

– Pavilion-cluster complexes are most effective in tourist areas, but require additional infrastructure to ensure safety and systematic training.

– In all the cases analysed, the need for multifunctionality and transformable spaces as a condition for the economic and social sustainability of the centre is confirmed.

– A hybrid model combining a compact public core with the possibility of expansion in the form of pavilions or courtyard spaces is relevant for Kazakhstan.

Identification of typological models of folk craft centres

A comparative analysis of domestic and foreign analogues of folk craft centres has identified three stable typological models that are formed as a result of recurring combinations of planning schemes, functional composition, operating modes and the nature of visitor interaction with craft production. These models (Table 3) summarise the results of the analysis presented in Tables 1 and 2 and reflect the most common architectural and planning approaches.

Table 3. Typological models of folk craft centres

Typological model	Planning scheme	Dominant functions	Mode of operation	Visitor interaction	Typical context of implementation
Model I. Compact year-round centre	Compact or perimeter-based	Production, education, exhibition	Year-round	Controlled, visual access	Large cities, educational and cultural institutions
Model II. Pavilion-cluster complex	Pavilion or cluster-based	Tourism, trade, events	Seasonal / event-based	Direct, immersive	Tourist destinations, cultural clusters
Model III. Adaptive multifunctional space	Flexible, non-fixed	Exhibitions, fairs, workshops	Episodic / transitional	Variable	Small and medium-sized cities, initial stage of development
Note – Compiled by the authors based on the comparative analysis and typological classification of domestic and international craft centres presented in Tables 1, 2.					

Typological model I — compact year-round centre (institutional model). This model is characterised by a compact or perimeter layout with a clearly defined public core and controlled access to production facilities. As a rule, it is implemented in the form of new construction or reconstruction of existing buildings and is designed for year-round operation. Production workshops in such centres are used as permanent workspaces for professional craftsmen, and educational and exhibition functions are integrated into the architectural structure of the complex. The visual accessibility of the craft process is ensured by glazing, galleries or specially organised routes, which increases the educational and demonstration value of the facility while

maintaining the production regime. This model is characterised by a high degree of sustainability and the greatest potential for the systematic transfer of craft knowledge.

Typological model II — pavilion-cluster craft complex (tourism-oriented model). The pavilion-cluster model is formed as a set of spatially separated workshops, exhibition pavilions and public areas, connected by pedestrian routes. It is mainly used in tourist areas and is focused on event-based activities. The production function within this model is mixed in nature and often combines the permanent work of craftsmen with demonstration formats. The educational component is usually limited to short-term master classes. The main advantage of this model is the high degree of visitor involvement and the spectacular nature of the craft process, but its operation is largely dependent on seasonal factors and requires increased attention to safety and climate comfort issues.

Typological model III — adaptive multifunctional space (transitional model). The third model is based on the adaptation of existing buildings and is characterised by a high degree of spatial flexibility. Such centres use one or more transformable spaces that alternately serve as exhibition halls, trading areas, workshops and educational spaces. Despite the effectiveness of this model in the initial stage of the revival of craft practices and the relatively low level of capital costs, its long-term sustainability is limited by the lack of specialised engineering and production infrastructure. As a rule, such centres play a transitional role and may eventually transform into more structured typological forms. The identification of these models confirms the possibility of systematising the diversity of existing solutions within a limited typological set, which creates the conditions for architectural unification without losing contextual specificity.

Unified functional and planning structure of folk craft centres

Despite differences in typological models, the analysis revealed a stable functional framework characteristic of most folk craft centres. This made it possible to formulate a unified functional and planning structure applicable to facilities of various sizes and purposes. This structure is based on a public core that includes exhibition, retail, and event and demonstration spaces. It serves as the main hub for distributing visitor flows and provides orientation within the centre's structure. Adjacent to the public core are production and educational areas, which can be spatially integrated or partially isolated depending on the permissible level of visitor interaction with the craft process. Administrative, utility and service premises form a supporting contour that ensures the efficient operation of the facility. The fundamental principle of the unified structure is the combination of functional differentiation and spatial unity. Individual zones are designed taking into account specific requirements (noise, safety, microclimate), while their interconnections ensure flexible use and transformation of the space. The analysis showed that such a structure can be implemented in various planning schemes – compact, pavilion or perimeter – while maintaining the overall logic of functioning. An important result is the possibility of scaling and modular development of centres. The number of workshops, the size of the public core and the degree of development of the service infrastructure may vary, but their mutual location and functional connections remain unchanged, which creates the basis for the standardisation of design solutions.

Applicability of the identified models in the conditions of the Republic of Kazakhstan

The applicability of the identified typological models in the conditions of the Republic of Kazakhstan is determined by regional, climatic and socio-economic factors. The compact year-round model seems to be the most appropriate for large cities and regions with a cold climate, where stable operation of centres and development of educational programmes are required. A controlled environment and stationary infrastructure are consistent with the objectives of professional training of craftsmen and institutional support for crafts. The pavilion-cluster model is most appropriate for southern regions and tourist centres, where favourable climatic conditions and seasonal tourist flows create the conditions for the use of open and semi-open spaces. In these

conditions, folk craft centres can function as elements of cultural and tourist clusters, strengthening regional identity and the attractiveness of the territory. The adaptive multifunctional model remains relevant for small and medium-sized cities, especially in the early stages of craft infrastructure development. It allows for the gradual development of the functional content of centres and reduces investment risks, while maintaining the possibility of further transformation.

Overall, the results of the study indicate the advisability of a hybrid approach combining elements of different typological models. The unified functional and planning structure identified in the analysis can serve as a basic framework for the design of folk craft centres in Kazakhstan, taking into account regional and cultural characteristics.

Standardisation and architectural flexibility

The results obtained indicate that architectural standardisation of folk craft centres should not be perceived as the unification of artistic image or the loss of local identity. Standardisation in this context implies the formation of a minimum functional and spatial framework that ensures the quality, safety and sustainability of the facilities. Within this framework, architectural solutions, choice of materials and artistic techniques may vary depending on local traditions and natural and climatic conditions. This approach allows folk craft centres to be viewed as elements of a broader system of cultural, educational and tourist development in the regions. For Kazakhstan, which is characterised by considerable diversity in its regions and craft traditions, the proposed model of combining standardisation and adaptability appears to be the most promising. It ensures the reproducibility of design solutions while preserving their cultural expressiveness and functional efficiency.

CONCLUSION

The study achieved its goal of identifying and systematising the architectural, planning and typological principles underlying the formation of folk craft centres in the Republic of Kazakhstan based on a comparative analysis of domestic and international experience.

It has been established that folk craft centres are a necessary element of the cultural, educational, and socio-economic infrastructure, ensuring the preservation of intangible cultural heritage, the transfer of traditional knowledge, and the involvement of society in the processes of actualising craft practices. The relevance of their development in Kazakhstan is determined by a combination of cultural, educational and economic factors, including the tasks of strengthening national identity, supporting small businesses and developing cultural tourism.

As a result of a comparative analysis of domestic and foreign architectural analogues, three basic typological models of folk craft centres were identified:

– a compact year-round centre focused on continuous production and educational activities;

– a pavilion-cluster craft complex focused primarily on tourism and events;

– an adaptive multifunctional space based on existing buildings and applicable in the early stages of craft infrastructure development.

The identification of these models made it possible to systematise the variety of existing solutions and form a typological basis for further architectural unification.

An analysis of functional and planning solutions revealed a stable set of functional areas, including production workshops, educational premises, exhibition and fair spaces, demonstration and event areas, as well as an administrative and service block. The repetitiveness of these elements and the nature of their spatial interrelationships made it possible to formulate a unified functional and planning structure for the folk crafts centre, based on a combination of a public core, a production and educational circuit, and auxiliary service areas.

During the study, principles for the architectural unification of folk craft centres were formulated, including the universality and transformability of planning solutions, functional

zoning taking into account the safety requirements and technology of craft processes, reflection of national and regional identity in the architectural image, mandatory inclusion of educational and exhibition components, as well as orientation towards the principles of sustainable development and phased formation of objects. The implementation of these principles allows for the creation of standard or reusable design solutions without losing cultural expressiveness and functional efficiency.

The applicability of the identified typological models in the conditions of the Republic of Kazakhstan has been substantiated, taking into account regional, climatic and socio-economic factors. Compact year-round centres are considered most appropriate for large cities and educational clusters, pavilion-cluster complexes for tourist areas in southern regions, and adaptive multifunctional spaces for small and medium-sized cities in the early stages of craft infrastructure development. The most promising direction is a hybrid approach that combines elements of different typological models within a single functional and planning structure.

The practical significance of the research results lies in the possibility of using them in the development of architectural concepts and project documentation for folk craft centres, as well as in the formation of methodological recommendations and regulatory requirements for these facilities. The conclusions can be applied in the activities of relevant authorities, design organisations and educational institutions, as well as serving as a basis for further research in the field of architectural typology of cultural and educational facilities.

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest.
FUNDING: This research received no external funding.
ACKNOWLEDGEMENTS: Not applicable.
STATEMENT ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES: The authors declare that no generative AI or AI-assisted tools were used in the preparation of this manuscript.

REFERENCES

Arynov K., Zhaksylykova L., Chernysh N., Chekayeva R. & Khvan Y. (2022). A basis for creating educational and production centers and folk applied craft centers in the settlements of Kazakhstan. ISVS e-journal, 9(5), 291–302. http://isvshome.com/pdf/ISVS_9-5/ISVS_9.5.20_Aryonov.pdf

Bullen P.A. & Love P.E.D. (2011). Adaptive reuse of heritage buildings. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 29(5), 411–428. https://doi.org/10.1108/02630801111182439

Carr J. & Dionisio M. R. (2017). Flexible spaces as a “third way” forward for planning urban shared spaces. Cities, 70, 73-82. https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.06.009

Chatzigrigoriou P., Nikolakopoulou V., Vakkas T., Vosinakis S. & Koutsabasis P. (2021). Is architecture connected with intangible cultural heritage? Reflections from architectural digital documentation and interactive application design in three Aegean islands. Heritage, 4(2), 664–689. https://doi.org/10.3390/heritage4020038

CNAD National Art, Crafts and Design Center / Ramos Castellano Arquitectos. (2022, December 6). ArchDaily. Retrieved January 10, 2026, from https://www.archdaily.com/993254/centro-nacional-arte-artesanato-e-design-cnad-ramos-castellano-arquitectos

Evans G. (2009). Creative cities, creative spaces and urban policy. Urban Studies, 46(5–6), 1003–1040. https://doi.org/10.1177/0042098009103853

Gayathri S. (2023). Evaluating the parameter of visibility adopted for CPTED for user safety in public open space of Haat Bazar: Isovist and VGA. Qeios. https://www.qeios.com/read/KHDE9I

Hillier B. & Hanson J. (1989). The social logic of space. Cambridge University Press. https://books.google.kz/books/about/The_Social_Logic_of_Space.html?id=-_0LBAAAQBAJ

Jokilehto J. (2005). Definition of cultural heritage: References to documents in history. ICCROM Working Group "Heritage and Society", January, 4–8. https://www.yumpu.com-/en/document/view/7749207/definition-of-cultural-heritage-references-to-cif-icomos

Liu C., Gan H. & He M. (2025). Evaluating the flexibility of rural public cultural spaces based on polyvalence theory: A case study of Xiangyang Village, Shanghai. Land, 14(6), 1177. https://doi.org/10.3390/land14061177

Markusen A. (2006). Urban development and the politics of a creative class: Evidence from a study of artists. Environment and Planning A: Economy and Space, 38(10), 1921–1940. https://doi.org/10.1068/a38179

Markusen A. & Gadwa Nicodemus A. (2014). Creative placemaking: How to do it well (Community Development Investment Review, Issue 02). Federal Reserve Bank of San Francisco. https://www.frbsf.org/community-development/wp-content/uploads/sites/3/creative-placemaking-how-to-do-it-well.pdf

Montgomery J. (2003). Cultural quarters as mechanisms for urban regeneration. Part 1: Conceptualising cultural quarters. Planning Practice & Research, 18(4), 293–306. https://doi.org/10.1080/1561426042000215614

Palace of Schoolchildren / Studio 44 Architects. (2019, March 8). ArchDaily. Retrieved January 10, 2026, from https://www.archdaily.com/488674/palace-of-schoolchildren-studio-44-architects

PDSA Studio. (n.d.). Dilli Haat – INA. Retrieved January 10, 2026, from https://psdastudio.com/dilli-haat-ina/

Ramos Castellano Arquitectos. (n.d.). Kulturzentrum auf den Kapverden / Cultural centre in Cape Verde [Project description]. DETAIL. Retrieved January 10, 2026, from https://www.detail.de/de_en/kulturzentrum-auf-den-kapverden-von-ramos-castellano-arquitectos

Ruthin Craft Centre. (n.d.). Accessibility / Hygyrchedd. Retrieved January 10, 2026, from https://www.ruthincraftcentre.org.uk/accessibilityhygyrchedd

Ruthin Craft Centre. (n.d.). Ruthin Craft Centre: The Centre for the Applied Arts. Retrieved January 10, 2026, from https://eumiesawards.com/heritageobject/ruthin-craft-centre/

Schoof J. (2023, July 12). Cultural centre on Cape Verde by Ramos Castellano Arquitectos. DETAIL. Retrieved January 10, 2026, from https://www.detail.de/de_en/kulturzentrum-auf-den-kapverden-von-ramos-castellano-arquitectos

Scott A. J. (2010). Cultural economy and the creative field of the city. Geografiska Annaler: Series B, Human Geography, 92(2), 115–130. https://doi.org/10.1111/j.1468-0467.2010.00337.x

Sergison Bates Architects. (n.d.). Centre for the applied arts: Ruthin Craft Centre (Project). Divisare. Retrieved January 10, 2026, from https://divisare.com/projects/261449-sergison-bates-architects-david-grandorge-ioana-marinescu-centre-for-the-applied-arts

Smith L. (2006). Uses of heritage (1st ed.). Routledge, Taylor & Francis Group. https://doi.org/10.4324/9780203602263

STAN.KZ. (2025, September 26). V Turkestane otkrylsya tsentr remeslennikov tyurkskikh… Available at: https://stan.kz/v-turkestane-otkrilsya-centr-remeslennikov-tyurkskih-st-423937/

Амангелдіқызы Р., Амандықова Д.А., & Tokajuk A. (2023). Народные художественные промыслы Казахстана: концепция реновации промышленных зданий. Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии, Сәулет және дизайн, № 1 (87). https://-vestnik.kazgasa.kz/frontend/web/uploads/personal-documents/1678879411_nwbIld.pdf // Amangel'dikyzy R., Amandykova D. A., & Tokajuk A. (2023). Narodnye khudozhestvennye promysly Kazakhstana: kontseptsiya renovatsii promyshlennykh zdanii [Folk arts of Kazakhstan: A concept for renovation of industrial buildings]. Vestnik

Kazakhskoi golovnoi arkhitekturno-stroitel'noi akademii. Säulet jäne dizain, 1(87). https://vestnik.kazgasa.kz/frontend/web/uploads/personal-documents/1678879411_nwbIld-.pdf (In Russ.).

Степанчук А.В. (2016). Особенности архитектурного формирования объектов культурного туризма с ремесленно-креативной функцией. CyberLeninka. https://cyberleninka.ru-/article/n/osobennosti-arhitekturnogo-formirovaniya-obektov-kulturnogo-turizma-s-remeslenno-kreativnoy-funktsiey

// Stepanchuk A.V. (2016). Osobennosti arkhitekturnogo formirovaniya ob''ektov kul'turnogo turizma s remeslenno-kreativnoi funktsiei [Architectural features of cultural tourism objects with a craft-creative function]. CyberLeninka. https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-arhitekturnogo-formirovaniya-obektov-kulturnogo-turizma-s-remeslenno-kreativnoy-funktsiey (In Russ.).

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Исмагулов Улан Нурланович – PhD докторанты, Л. Н. Гумилев Атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан
Исмагулов Улан Нурланович – PhD докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Ismagulov Ulan Nurlanovich – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: ismagulov.un@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1356-5148



Арынов Калдыбай Канаевич – Сәулет докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ., Қазақстан
Арынов Калдыбай Канаевич – Доктор архитектуры, профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
Arynov Kaldybai Kanaevich – Doctor of Architecture, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: arynov_kk@enu.kz
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0799-8574



Саурбаева Асемгуль Муратовна – PhD техника ғылымдары, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев Атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ., Қазақстан
Саурбаева Асемгуль Муратовна – PhD технических наук, старший преподаватель, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
Saurbayeva Asemgul Muratovna – PhD in Civil Engineering, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
e-mail: saurbayeva_am_1@enu.kz
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9947-6716

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_9
ХҒТАР 67.09.33; 67.09.29

ӨЗДІГІНЕН ТЫҒЫЗДАЛАТЫН БЕТОН ҚҰРАМЫНДАҒЫ МИКРОКРЕМНЕЗЕМНІҢ ШӨГУ, БЕРІКТІК ЖӘНЕ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

ВЛИЯНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА В СОСТАВЕ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА НА УСАДКУ, ПРОЧНОСТЬ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

EFFECT OF MICROSILICA IN SELF COMPACTING CONCRETE ON SHRINKAGE, STRENGTH, AND RHEOLOGICAL PROPERTIES

А.Т. Оспанова [1], **Д.А. Ахметов** [1], **А.А. Сартбаев** [1]*,
Б.О. Ускембаева [1], **Д.Е. Чуканов** [1]
[1]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан
*Жауапты автор: Сартбаев Асхат Амандыкович, sartbayev03@gmail.com

Түйінді сөздер:
Өздігінен тығыздалатын бетон, микрокремнезем, шөгу, беріктік, пуццоландық белсенділік, реология.

ТҮЙІНДЕМЕ
Бұл жұмыста микрокремнеземнің (МК) өздігінен тығыздалатын бетонның (ӨТБ) шөгу, беріктік және реологиялық қасиеттеріне әсері зерттелген. МК мөлшері цемент массасының 5 %, 10 % және 15 % көлемінде қолданылған. Эксперименттік зерттеулер отандық және еуропалық стандарттарға сәйкес жүргізілді және бетонның ерте және кейінгі қату кезеңдеріндегі қасиеттерінің өзгеріс заңдылықтарын анықтауға бағытталған. Зерттеу нәтижесінде микрокремнеземнің жоғары пуццоландық белсенділігі цемент тасын тез гидратациялауға және тығыз микроструктура қалыптастыруға ықпал ететіні анықталды. Бұл капиллярлы кеуектіліктің төмендеуіне және бетон беріктігінің 19 %-ға дейін артуына алып келеді. Сонымен қатар, бақылау қоспасымен салыстырғанда шөгу деформациялары 27 %-ға дейін төмендегені байқалды. Сонымен бірге микрокремнеземнің бетон қоспаларының реологиялық қасиеттеріне әсері зерттелді, бұл олардың ерте кезеңдегі орнықтылығы мен ыңғайлы төселуін болжау үшін маңызды. Зерттеу нәтижелері Алматы қаласының климаттық жағдайларын ескере отырып, ұзақмерзімді темірбетон конструкцияларын жобалау және қолдану үшін практикалық маңызға ие.

Ключевые слова:
Самоуплотняющийся бетон, микрокремнезем, усадка, прочность,

АННОТАЦИЯ
В настоящей работе рассмотрены особенности усадочных и прочностных, реологических характеристик самоуплотняющегося бетона (СУБ) с добавлением микрокремнезема (МК) в количестве

© 2026 **А.Т. Оспанова, Д.А. Ахметов, А.А. Сартбаев, Б.О. Ускембаева, Д.Е. Чуканов**
Бұл жұмыс Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясы (CC BY 4.0) бойынша таратылады.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

пуццолановая активность, реология.

5 %, 10 % и 15 % от массы цемента. Проведён комплекс экспериментальных исследований в соответствии с отечественными и европейскими стандартами, направленных на оценку влияния МК на поведение бетона в ранние и поздние сроки твердения. Выявлено, что применение микрокремнезема способствует формированию более плотной структуры цементного камня за счёт интенсивных пуццолановых реакций, приводящих к ускоренной гидратации и снижению капиллярной пористости. В результате этого наблюдается значительное повышение прочности (до 19 %) и уменьшение усадки (до 27 %) по сравнению с контрольной смесью. Проведена оценка влияния МК на реологические характеристики смесей, что позволяет прогнозировать удобоукладываемость и поведение СУБ в ранние сроки. Полученные результаты представляют интерес для проектирования долговечных железобетонных конструкций, особенно в климатических условиях города Алматы.

Keywords:
self-compacting concrete, microsilica, shrinkage, strength, pozzolanic activity, rheology

ABSTRACT

This study investigates the influence of microsilica on the shrinkage behavior, mechanical strength, and rheological properties of self-compacting concrete (SCC). Microsilica was incorporated at replacement levels of 5%, 10%, and 15% by mass of cement. A comprehensive experimental program, conducted in compliance with national and European standards, evaluated the effects of microsilica on both early and later hardening stages. The results indicate that MS enhances the formation of a denser cementitious matrix through intensified pozzolanic reactions, accelerating hydration and reducing capillary porosity. Compared to the control mixture, the microsilica-modified SCC exhibited a compressive strength increase of up to 19% and a total shrinkage reduction of up to 27%. Additionally, the study analyzed the impact of microsilica on the fresh-state rheology of SCC, improving workability prediction and early-age performance assessment. These findings provide practical insights for optimizing the design of durable reinforced concrete structures, particularly under the climatic conditions of Almaty.

КІРІСПЕ

Соңғы онжылдықтарда микрокремнезем (МК) жоғары сапалы бетон өндірісіндегі тиімді минералдық қоспа ретінде орнығын нығайтты. Оның қолданылуы тек беріктікті арттыруға ғана емес, сонымен қатар бетонның төзімділігі мен сыртқы агрессивті әсерлерге төзімділігіне байланысты да негізделген. 1980-жылдардан бастап МК жоғары беріктіктегі, аязға және коррозияға төзімді бетондар өндірісінде кеңінен қолданылады (Daczko, 2012).

Микрокремнезем құрылыс материалдары саласында жаңа технологиялық бағыттардың дамуына түрткі болды. Қазіргі таңда ол тек дәстүрлі темірбетон бұйымдарында ғана емес, сонымен қатар гидротехникалық құрылыстарда, көпірлерде, жол жабындыларында және биік ғимараттардың көтергіш құрылымдарында кеңінен қолданылуда. Мұндай кең таралуының басты себебі МК енгізу арқылы бетонның қызмет ету мерзімін бірнеше есеге дейін арттыруға болатындығы.

Микрокремнезем (МК) - бұл ферросилиций қорытпасын балқыту кезінде түзілетін шаң (Lajan et al., 2019). МКЗ сұрғылт ақ түсті болып, оның бөлшектерінің орташа мөлшері шағын әрі әдетте цемент бөлшектерінің мөлшерінен 1/50-1/100 шамасында болады (МЕМСТ10180-2012, 2014). Материалдың меншікті бетінің аумағы өте үлкен және 15 000–25 000 м²/кг аралығында жатады. МК-тің негізгі химиялық компоненті бұл аморфты кремний диоксиді үлесі 85%-дан астам. Физикалық сипаттамалары мен химиялық құрамына

байланысты МК жоғары беленді пуццоландық қоспа болып табылады (Villar-Cociña et al., 2020; Lajan et al., 2019; Sharaky et al., 2019). Бетон дайындау кезінде микрокремнеземді қосу қоспаның ұстамдылығын жақсартады; сонымен қатар, ол сілті-агрегаттық реакциясын тежейді және механикалық қасиеттерді (Flores Medina et al., 2015), аязға төзімділікті (Liang et al., 2021) және су өткізбейтіндікті (Zhang et al., 2018) едәуір жақсартады.

Осының нәтижесінде бетондағы капиллярлы кеуектердің саны азайып, су өткізбейтіндігі артады. Бұл қасиет әсіресе Қазақстанның климаттық жағдайларында маңызды, өйткені температураның күрт ауытқуы мен аяз кезінде конструкциялардың жарыққа төзімділігі артып, аязға қарсы беріктігі қамтамасыз етіледі. Сонымен қатар, микрокремнезем цемент шығынын азайтып, экономикалық тұрғыдан да тиімді шешім болып саналатыны атап өтілген (Daczko, 2012).

Өздігінен тығыздалатын бетондар (ӨТБ) құрамындағы микрокремнеземді бетондардың әрекеті ерекше қызығушылық тудырады, мұнда тек беріктік емес, сонымен қатар шөгілу және реологиялық қасиеттер сияқты параметрлер маңызды рөл ойнайды. МК-ның ұсақ дисперсті құрылымы мен су сіңіру қабілеті араласманың тұтқырлығына және бетон микроқұрылымының ерте қату кезеңдеріндегі қалыптасуына әсер етеді. Зерттеушілердің мәліметтері бойынша, су-цемент қатынасы тұрақты болған жағдайда, МК бар цементтің 7 күндік гидратация дәрежесі қарапайым цементтің 28 күндік дәрежесіне жетеді (Daczko, 2012).

Бұл дерек микрокремнеземнің гидратациялық процестерді айтарлықтай жылдамдататынын көрсетеді. Яғни, бетон ерте мерзімдерде жоғары беріктікке қол жеткізеді, бұл өндірістік циклдарды жеделдетуге және қалыптарды қайта пайдалануды тездетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қоспаның реологиялық қасиеттерінің жақсаруы бетонды құю кезінде вибрациясыз технологияларды қолдануға жол ашады.

Шөгу — бетонның қатып, құрғау процесінде пайда болатын маңызды құбылыс. Алғашқы көлемнің азаюы ылғалдың буланuы мен гидратациядан туындайды және бетон конструкцияларының өнімділігіне уақыт өте келе әсер етеді. Алдын ала керілген бетондар үшін шөгілуді дәл бағалау сыртқы кернеудің уақытша жоғалуын болжауда шешуші рөлге ие. Шөгілуді төмен бағалау тізбекті кернеудің жоғалуына, соның салдарынан конструкциялардың ұзақ мерзімді төзімділігі мен қызмет ету қабілетіне теріс әсерін тигізуі мүмкін.

Сондықтан шөгу процестерін алдын ала зерттеу және олардың нақты шамаларын анықтау инженерлік практикада аса өзекті мәселе болып табылады. Шетелдік зерттеулерде микрокремнезем енгізілген бетондарда шөгу шамасы дәстүрлі құрамдармен салыстырғанда 20–30%-ға төмендейтіні көрсетілген. Бұл көрсеткіш конструкциялардың өлшемдік тұрақтылығын қамтамасыз етіп, олардың пайдалану мерзімін ұзартуға септігін тигізеді.

Зерттеудің мақсаты — микрокремнеземнің ӨТБ-ның шөгілуді және реологиялық қасиеттеріне әсерін тәжірибелік зерттеу және беріктікке тәуелді шөгілуін болжау. Жұмыс алдын ала керілген конструкциялардың жарыққа төзімділігін және эксплуатациялық сенімділігін арттыруға бағытталған. Нәтижелер микрокремнеземді бетондардың өнімділігін болжау дәлдігін арттырады.

ӘДЕБИ ШОЛУ

Өзін тығыздайтын бетон (ӨТБ) бұл өз салмағының әсерімен қалыпты толық толтыра алатын және қосымша дірілдеусіз орналаса алатын жоғары технологиялық құрылыс материалы. 1980-жылдардың соңында Жапонияда алғаш пайда болғаннан бері ӨТБ құрамын жобалау және материалтану салаларында айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізілді (Okamura & Ouchi, 2003). Минералды қоспаларды, әсіресе микрокремнеземді (МК), қолдану арқылы ӨТБ-ның қасиеттерін жақсарту кеңінен зерттеліп келеді.

Микрокремнезем —кремний немесе феррокремний қорытпаларын өндіру кезінде түзілетін жанама өнім. Оның құрамы негізінен аморфты кремний диоксидінен тұрады және меншікті беті жоғары. Бұл материал пуццоландық белсенділікке ие және цемент гидратациясын жеделдетіп, қосымша кальций-силикат-гидрат (C-S-H) түзілуіне ықпал етеді, нәтижесінде беріктік пен микрокұрылым тығыздығы артады (Villar-Cociña et al., 2020).

Зерттеулер көрсеткендей, микрокремнеземді қолдану ӨТБ-ның қысу беріктігін және ұзақмерзімді төзімділігін айтарлықтай жақсартады. Мысалы, цементтің 10–15% микрокремнеземмен ауыстырылуы беріктіктің ерте және кейінгі кезеңдерде едәуір артуына алып келетіні анықталған (Sankar et al., 2019). Алайда микрокремнеземнің артық мөлшері қоспаның жұмысқа қабілеттілігін төмендетіп, суға деген қажеттілікті арттырады. Мұндай жағдайда жоғары тиімділікке ие су азайтқыштарды қолдану қажет (Domone, 2006).

ӨТБ үшін шөгу, әсіресе автогендік және кебу шөгуі, маңызды мәселе болып қала береді. Микрокремнеземнің ұсақ бөлшектері мен жоғары белсенділігі ішкі ылғалдың тез тұтынылуына және микроструктураның тығыздалуына әкеліп, шөгу көлемін арттыруы мүмкін (Puentes et al., 2015). Кейбір авторлар микрокремнеземнің шөгуін арттыратынын айтса, басқалары оны химиялық қоспалар мен дұрыс күтім арқылы азайтуға болатынын көрсетеді (Sahmaran et al., 2007).

ӨТБ-ның реологиялық қасиеттері де микрокремнеземнің қосылуымен айтарлықтай өзгереді. МК қосылғанда қоспаның беріктік шегі мен пластикалық тұтқырлығы артатыны байқалады, бұл тұрақтылықты арттыруы мүмкін, бірақ ағындылығын төмендетуі мүмкін (Domone, 2006). Бұл әсерлерді суперпластификатор дозасын дәл реттеу арқылы теңестіруге болады.

Қазіргі әдебиетте бірқатар олқылықтар әлі де бар. Атап айтқанда, ӨТБ құрамында микрокремнеземнің оңтайлы мөлшерін анықтау бойынша бірізді пікір жоқ. Сонымен қатар, микрокремнезем мөлшерінің реологиялық параметрлер мен ұзақ мерзімді шөгу арасындағы өзара байланысы туралы жүйелі зерттеулер аз. Микрокремнезем модификаторы маңызды, себебі ол дірілсіз технологиялармен өндірілетін құрылымдық элементтердің беріктігі мен төзімділігіне тікелей әсер етеді.

Осы зерттеу жұмысы микрокремнезем мөлшерінің өзгеруінің ӨТБ-ның шөгу, беріктік және реологиялық қасиеттеріне әсерін тәжірибелік түрде зерттеуге бағытталған. Әдеби шолуда қарастырылған мәліметтер зерттеу сұрақтарының және мақсаттарының қалыптасуына негіз болып табылады. Шолу тақырыптық бағытта ұйымдастырылған: механикалық қасиеттер, шөгу сипаты және реология — зерттеу тақырыбының негізгі аспектілерін қамтиды және жұмыс жоспарының негізін анықтайды.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу барысында микрокремнезем (МК) мөлшері 0%, 5%, 10% және 15% (цементтің массасына қатысты) болатын өздігінен тығыздалатын бетон (ӨТБ) қоспалары дайындалды. Қоспалардың барлығы тұрақты су-цемент қатынасымен (С/Ц = 0,35) және қажетті ағындылық пен құюға жарамдылықты қамтамасыз ететін поликарбоксилатты суперпластификатор қолданыла отырып жасалды. Тәжірибеге дейін шикізат материалдарының сапасы МЕМСТ стандарттарына сәйкес тексерілді (МЕМСТ 31108-2003, 2003; МЕМСТ 8736-2014; МЕМСТ 32824-2014).

Материалдар мен қоспалардың құрамы:

– Цемент: портландцемент CEM II 42.5 (МЕМСТ 31108-2003);

Зерттеуде портландцемент CEM II 42.5 (МЕМСТ 31108-2003) «Стандарт» маркасы (М450) қолданылды. Лабораториялық сынақ нәтижелері оның негізгі физикалық-

механикалық қасиеттерінің нормативтік талаптарға сәйкес келетінін көрсетті. Цементтің ұнтақталу дәрежесі 0,5 % қалдықпен сипатталады, бұл МЕМСТ нормасынан әлдеқайда төмен көрсеткіш болып табылады және материалдың жоғары ұнтақталуын айғақтайды. Қалыпты қоюлығы 28 % деңгейінде, бұл цементтің су қажеттілігінің стандарт шегінде екенін дәлелдейді. Қатаю уақытының басталуы мен аяқталуы мәндері нормативке сай келеді. Қысу беріктігі 7 тәулікте 63 МПа, иілуге беріктігі 6.6 МПа шамасында анықталды. Көлем тұрақтылығы бойынша ауытқулар байқалған жоқ, нәтижелері толық сәйкес келеді (МЕМСТ 10180-2012; МЕМСТ 31108-2003).

– Микрокремнезем (МК): меншікті беті 18 000 см²/г, аморфты кремний диоксидінің (SiO_2) мөлшері 90 % астам (ASTM C1240) ;

Зерттеуде қолданылған микрокремнеземнің меншікті беті 18 000 см²/г деңгейінде, ал аморфты кремний диоксидінің (SiO_2) мөлшері 90 % астам. Мұндай сипаттамалар ASTM C1240 стандартына сәйкес келеді және микрокремнеземнің жоғары пуццоландық белсенділігін қамтамасыз етеді.

– Толтырғыштар: қиыршық тас (5-10 мм және 10-20 мм фракциялары), кварцты құм (модулі Мкр = 2,6);

ТОО «Гиада» өндірген кварцты құмға жүргізілген зертханалық зерттеулер оның физикалық-механикалық сипаттамаларының МЕМСТ 8736-2014 нормативтік талаптарына сәйкестігін растады. Атап айтқанда, құмның ірілік модулі 2,3 құрап, орташа ірілік класына сәйкес келеді. Ылғалдылық деңгейі 2,5 %, яғни стандартпен белгіленген 5 % шектен аспайды. Шаңды бөлшектердің үлесі 0,15 %, ал жуу кезіндегі масса жоғалтуы 0.15 % шамасында тіркелді, бұл мәндер нормативтік шектен айтарлықтай төмен. Құмның көлемдік массасы 1140 г/л құрап, оның құрылымдық тығыздығының жеткілікті деңгейін дәлелдейді (МЕМСТ 8736-2014)

Фракциясы 5-10 мм «Озентас» өндірісінің қиыршық тасы жүргізілген зертханалық зерттеулер нәтижелері бойынша МЕМСТ 8267-93 стандартының нормативтік талаптарына толық сәйкес келетіні анықталды. Материалдың түйір құрамын талдау барысында инелі (игольчатые) түйіршіктердің үлесі 8 % деңгейінде екені тіркелді, бұл көрсеткіш рұқсат етілген шектен (15 %) айтарлықтай төмен. Ұсақталу кезіндегі масса жоғалтуы небәрі 1.10% құрап, қиыршық тастың жоғары беріктік сипаттамаларын айғақтады. Сонымен қатар, көлемдік тығыздықтың 1320 г/л шамасында болуы материалдың құрылымдық сапасының жеткілікті екендігін дәлелдеп, бетон қоспаларының тығыздығы мен біртектілігіне оң әсер ететінін көрсетті (МЕМСТ 32824-2014).

Озентас» өндірісінің 10–20 мм фракциялы қиыршық тасы МЕМСТ 32824-2014 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ» талаптарына толық сәйкес келеді (МЕМСТ 32824-2014).

Ине тәрізді түйіршіктердің мөлшері (10%) және ұсақталу кезіндегі масса жоғалтуы (1,28 %) нормативтік шектердің ішінде болып, материалдың сапасын айқындайды.

Қиыршық тастың көлемдік (насыпная) тығыздығы 1240 г/л шамасында, бұл оның құрылымдық тығыздығының жоғары екендігін және сапасының тұрақтылығын дәлелдейді

– Суперпластификатор: поликарбоксилатты түрі (дозасы байланыстырғыш массасының 0,85-1,3 % аралығында).

Зерттеуде поликарбоксилат негізіндегі суперпластификатор «Оптима» пайдаланылды. Қоспа жоғары диспергирлеу қабілетінің арқасында цемент жүйесінің бөлшектерін тиімді ажыратып, қоспаның ағымдылығын қамтамасыз етеді және су-цемент қатынасын төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде бетонның ерте беріктік жинақталуын жеделдетіп, құрылымдық тығыздығын және ұзақмерзімді беріктігін арттырады. Поликарбоксилаттық суперпластификаторлар әдетте байланыстырғыш массасының 0,35-1,2 % мөлшерінде қолданылады.

Реологиялық қасиеттердің анықталуы:

Қоспалардың ағындылығы мен тығыздалу қабілеті келесі стандартты әдістер арқылы бағаланды:

– J-сақина (таралу қабілеті);

– V-тәрізді құйғыш (ағу уақытын анықтау);

– L-box (көлденең ағу қабілеті);

– Абрамс конусы (құймалық индексі).

– Микрометр:

Шөгілу: 100×100×400 мм өлшемді бетон призмаларда МЕМСТ 24544-2020 стандартына сәйкес өлшенді. Цифрлық индикатор көмегімен алғашқы күннен бастап (1, 3, 7, 14, 28 және 56 күн) шөгілу деформациялары тіркелді.

Қысу беріктігі: 100×100×100 мм өлшемді кубтық үлгілерде МЕМСТ 10180-2012 талаптары бойынша анықталды. Сынақтар шөгілу өлшеулерімен бір мезгілде жүргізілді.

Қату шарттары:

Барлық үлгілер нақты эксплуатациялық жағдайға жақын параметрлерде (температура 20±2 °C, салыстырмалы ылғалдылық 95±5 %) ұсталды.

1-кесте. Қоспалардың құрамы

Параметр	0 % МК	5 % МК	10 % МК	15 % МК
МК, % цементтен	0	5	10	15
Суперпластификатор, %	1,2	1,2	1,2	1,2
С/Ц	0,35	0,35	0,35	0,35
Ескерту – авторлардың тәжірибелік зерттеулері негізінде құрастырылған				

Зерттеу барысында микрокремнезем (МК) мөлшері 0 %, 5 %, 10 % және 15 % (цемент массасына) болатын 4 түрлі өздігінен тығыздалатын бетон қоспалары дайындалды. Барлық қоспалар үшін су-цемент қатынасы (С/Ц) тұрақты (0,35) болды. Әрбір құрамда суперпластификатор мөлшері тұрақты түрде цемент массасынан 1,2 % етіп алынды. Бұл микрокремнеземнің түрлі мөлшерінің бетон қоспасының қасиеттеріне әсерін дәл және салыстырмалы түрде бағалау үшін қажет болды. Суперпластификатор дозасын өзгертпей, тек микрокремнезем құрамын өзгерту арқылы оның нақты әсері анықталды.

ӨТБ қоспаларының реологиялық қасиеттері EN 12350 сериялы еуропалық стандарттарға сәйкес бағаланды:

– Абрамс конусы – таралу диаметрі (EN 12350-2, МЕМСТ 10181);

– J-ring әдісі – арматура арасынан өту қабілеті (EN 12350-12:2010);

– V-тәрізді құйғыш – ағу уақыты (EN 12350-9);

– L-box – көлденең ағу қабілеті (EN 12350-10).

Барлық сынақтар бөлме температурасында (20±2 °C) жүргізілді. Әр сынақ үш рет қайталанды, нәтижелер орташа мән ретінде берілді.

Өздігінен тығыздалатын бетон қоспасының реологиялық қасиеттерін бағалау үшін халықаралық және ұлттық стандарттарға сәйкес бірнеше стандартты әдістер қолданылды. Зерттеулер EN 12350 сериялы еуропалық стандарттар мен олардың үйлестірілген МЕМСТ нұсқаларына сәйкес жүргізілді.

Қоспаның таралу қабілеті Абрамс конусы әдісімен (EN 12350-2, МЕМСТ 10181) анықталды. Қоспаның жайылу қабілетін анықтау үшін конус Абрамс әдісі пайдаланылды. Сынақ барысында конус формасы тегіс металл табақшаға орналастырылып, үш қабатпен толтырылады. Әр қабат қоспаға ешқандай ныгыздау күшін қолданбастан құйылды. Конус тігінен көтерілгеннен кейін қоспаның еркін жайылуы бақыланды. Диаметр екі бағытта

(өзара перпендикуляр) өлшеніп, олардың орташа мәні таралу диаметрі ретінде қабылданды. Бұл көрсеткіш қоспаның ағып жайылу қабілетін сипаттайды.

Арматура арасынан өту қабілеті J-ring әдісімен (EN 12350-12:2010) бағаланды. Арматура арасынан өту қабілетін бағалау үшін J-ring құрылғысы қолданылды. Ол дөңгелек табақшаға орнатылған тік стерженьдерден тұрады және арматураны еліктейді. Алдымен қоспаның еркін жайылуы Абрамс конусымен анықталды, кейін дәл сол процедура J-ring сақинасымен қайталанды. Екі жағдайда да таралу диаметрі өлшеніп, айырмашылық (ΔD) анықталды. Бұл көрсеткіш қоспаның арматурасы тығыз орналасқан аймақтар арқылы өту қабілетін көрсетеді .

Қоспаның тұтқырлығы және ағу уақыты V-тәрізді құйғыш арқылы (EN 12350-9) анықталды. Ағу уақыты қоспаның тұтқырлық қасиеттерін бағалау үшін V-тәрізді құйғыш арқылы өлшенді. Құйғыштың төменгі бөлігі жабық күйде қоспамен толтырылып, белгілі бір уақыт өткеннен кейін қақпағы ашылды. Қоспаның толық ағуына кеткен уақыт секундпен тіркелді. Алынған мәліметтер қоспаның тұтқырлығы мен еркін ағу қабілетінің сипаттамасы ретінде қарастырылды.

Қоспаның көлденең бағытта ағу қабілетін бағалау үшін L-box құрылғысы қолданылды. L-тәрізді арна тік бөлік пен көлденең бөлікке бөлінеді, олардың арасында тік стерженьдер орналасқан. Алдымен қоспа тік бөлікке құйылды, кейін қақпақ көтеріліп, қоспаның көлденең бөлікке өтуі бақыланды. Сынақ соңында қоспаның биіктігі екі нүктеде (көлденең арнаның басы мен соңы) өлшеніп, олардың қатынасы (H_2/H_1) есептелді. Бұл көрсеткіш қоспаның бөгеттер арқылы ағу қабілетін сипаттайды.



1-сурет. Бетон қоспасының реологиялық қасиеттерін анықтау әдістері.
А- V-тәрізді құйғыш. Б- L-box . В- J-ring әдісі
Ескерту – авторлардың тәжірибелік зерттеулері негізінде құрастырылған

Шөгуін анықтау үшін МЕМСТ 24544-2020 стандартына сәйкес ені 100 мм, биіктігі 100 мм және ұзындығы 400 мм призмалық үлгілер дайындалды. Үлгілер 1, 3, 7, 14, 28 және 56 тәулік ішінде бақылауға алынып, шөгілу микрометр арқылы өлшенді.

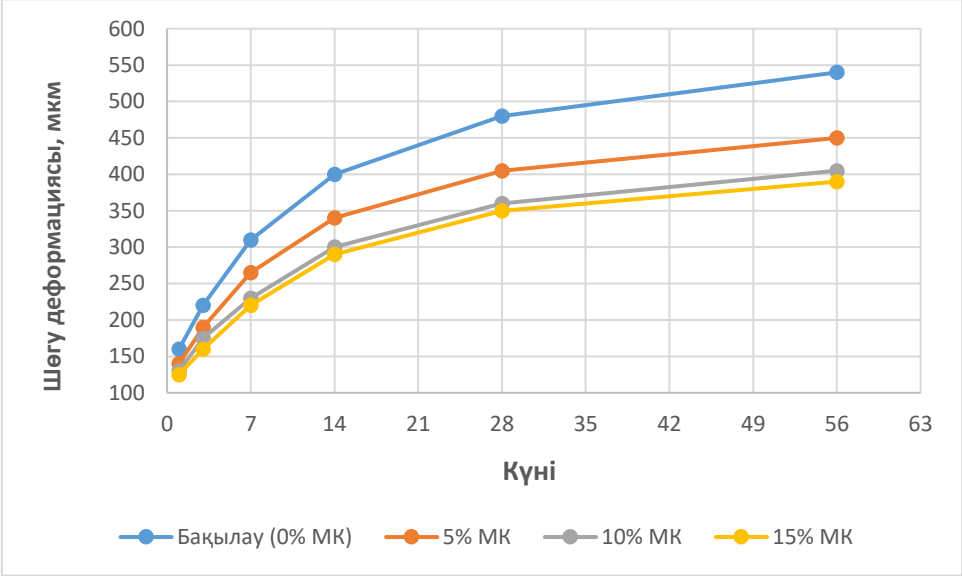
Қысу беріктігі 100×100×100 мм өлшемді куб үлгілерде гидравликалық пресс көмегімен анықталды (Пресс гидравликалық ИП-2000, жүктеме шегі 2000 кН, дәлдік класы ±1 %). Сынақтар МЕМСТ 10180-2012 стандартына сәйкес жүргізілді. Әр құрам үшін кемінде үш үлгі пайдаланылды.

НӘТИЖЕЛЕР МЕН ТАЛҚЫЛАУ

Төмендегі графикте микрокремнеземнің мөлшеріне қарай бетон шөгуінің 56 күн ішіндегі өзгерісі берілген.

2-кесте. 56 күнде шөгілу көрсеткіштері, график қоса тіркеледі:
Шөгілу (мкм/м) – тәулік бойынша

Күні	Бақылау (0% МК)	5% МК	10% МК	15% МК
1	160	140	130	125
3	220	190	175	160
7	310	265	230	220
14	400	340	300	290
28	480	405	360	350
56	540	450	405	390
Ескерту – авторлардың тәжірибелік зерттеулері негізінде құрастырылған				



2-сурет. Шөгу деформациясының уақыт бойынша өзгерісі
Ескерту – авторлардың тәжірибелік зерттеулері негізінде құрастырылған

Суретте көрсетілген мәліметтер бойынша, өздігінен тығыздалатын бетонның шөгу деформациялары микрокремнезем (МК) мөлшерінің артуына қарай елеулі түрде азаятыны байқалады. Бақылау үлгісіне (0 % МК) қарағанда, барлық модификацияланған құрамдарда шөгу шамаларының тұрақты түрде төмендеуі тіркелген.

Ең жоғары шөгу деформациясы барлық мерзімде бақылау құрамында байқалды және 56 тәулікте 540 мкм-ге жетті. Ал 15 % микрокремнезем енгізілген құрамда бұл көрсеткіш тек 390 мкм құрады, яғни шөгу 27,8 %-ға азайды. Бұл микрокремнеземнің жоғары пуццоландық белсенділігі мен микрофилл эффектісіне байланысты цемент тасындағы капиллярлық қуыстардың азаюымен түсіндіріледі.

Бастапқы мерзімдерде де (1-7 тәулік) МК-мен модификацияланған құрамдарда шөгу қарқыны төмен болып, әсіресе 10–15 % МК қосылған қоспаларда тұрақты нәтиже берген. 1 тәулікте шөгу мөлшері бақылау үлгісінде 160 мкм болса, 15 % МК құрамында тек 125 мкм болды, бұл да 21,9 %-ға азаюды көрсетеді.

Жалпы, алынған нәтижелер микрокремнеземнің өздігінен тығыздалатын бетонның шөгу деформацияларын азайтуға тиімді әсер ететінін көрсетеді. Бұл көрсеткіштердің төмендеуі конструкциялардың жарыққа төзімділігін және ұзақ мерзімді эксплуатациялық сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл құбылыс

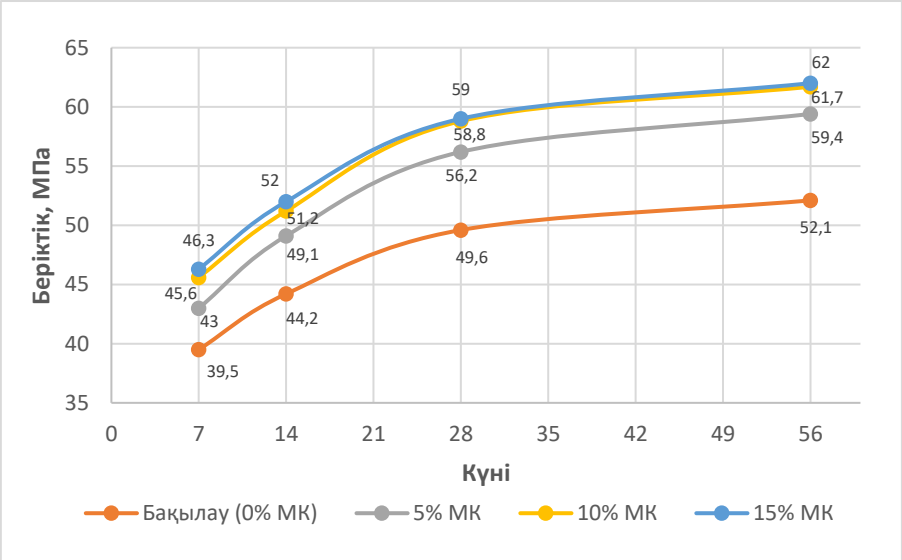
микрокремнеземнің ерте гидратацияны жеделдету, кальций гидроксидімен реакцияға түсу арқылы екінші реттік C-S-H фазаларын қалыптастыру қабілетімен тығыз байланысты.

Кестеден көріп отырғанымыздай, МК қосу арқылы шөгу көрсеткіштері едәуір төмендеді. 15 % мөлшерінде МК қолдану шөгілуді 27,7 % азайтты.

3-кесте. 56 күнде бетондағы микрокремнезем мөлшерінің беріктік көрсеткіштеріне әсері: Беріктік: МПа – тәулік бойынша

Күні	Бақылау (0 % МК)	5 % МК	10 % МК	15 % МК
7	39,5	43,0	45,6	46,3
14	44,2	49,1	51,2	52,0
28	49,6	56,2	58,8	59,0
56	52,1	59,4	61,7	62,0
Ескерту – авторлардың тәжірибелік зерттеулері негізінде құрастырылған				

МК енгізу беріктікті арттыруға әсер етті. 15 % МК қолдану 56 күнде 19 %-ға дейін артық беріктік көрсетті.



3-сурет. Бетонның беріктігінің қату уақытына байланысты өзгерісі
Ескерту – авторлардың тәжірибелік зерттеулері негізінде құрастырылған

Суретте көрсетілген мәліметтер бойынша, 7–56 тәулік аралығында бетон үлгілерінің қысу беріктігінің өзгерісі көрсетілген. Бақылау үлгісімен (0 % МК) салыстырғанда, микрокремнезем қосылған қоспаларда беріктіктің айтарлықтай артқаны байқалады. 7 тәулікте-ақ 5 %, 10 % және 15 % микрокремнезем енгізілген үлгілер бақылаудан жоғары нәтижелер көрсетті. 28 және 56 тәуліктерде микрокремнезем мөлшері артқан сайын бетонның беріктігі де біртіндеп жоғарылаған. Әсіресе 10 % және 15 % микрокремнезем қосылған үлгілер ең жоғары нәтижелерді көрсетті.

Микрокремнезем (МК) мөлшерінің артуы қоспаның тұтқырлығының жоғарылауына алып келді, бұл әсіресе 15 % мөлшерінде айқын байқалды. Алайда, поликарбоксилат негізіндегі суперпластификаторды қолданудың арқасында қоспалар қажетті қозғалыштылықты сақтап қалды: V-тәрізді воронка арқылы ағып өту уақыты 6,2-7,9 секунд

аралығында болды және МЕМСТ талаптарына (≤ 8 с) сай келді, ал Абрамс конусы бойынша жайылу 650-720 мм диапазонында сақталды (EN 12350-9:2010).

4-кесте. Микрокремнезем мөлшерінің реологиялық нәтижелеріне әсері

№	МК мөлшері, %	V-тәрізді воронка арқылы өту уақыты, с	L-box өтімділік коэффициенті (H_2/H_1)	Абрамс конусы бойынша жайылу, мм	Бөгет сақинасы (J-ring), мм
1	0	6,3	0,95	720	700
2	5	6,7	0,93	700	670
3	10	7,2	0,89	670	640
4	15	7,8	0,80	650	610
Ескерту – авторлардың тәжірибелік зерттеулері негізінде құрастырылған					

Ең жақсы жұмысқа қабілеттілік көрсеткіштері микрокремнеземнің 5-10 % мөлшерінде байқалды, бұл қозғалыштылық пен тұтқырлық арасындағы оңтайлы арақатынасты қамтамасыз етті. Мөлшерді одан әрі арттырған кезде, әсіресе L-box сынақтарында, өтімділік коэффициенті МЕМСТ бойынша рұқсат етілген шекке (≥ 0,80) жақындай отырып, қоспаның орнықты төгілу қабілеті төмендей бастады.

Микрокремнеземді (МК) енгізу өздігінен тығыздалатын бетонның (ӨТБ) шөгілу көрсеткіштерін едәуір төмендетіп, беріктігін арттыратыны анықталды. Бұл құбылыс көптеген зерттеулерде де сипатталған. Мысалы, Okamura & Ouchi [9] және EFNARC нұсқаулығында [3] микрокремнеземнің капиллярлық қуыстар санын азайтып, бетонның тығыздығын жоғарылататыны, нәтижесінде шөгілу деформациясының төмендейтіні көрсетілген. Біздің нәтижелеріміз осы тенденцияны растайды: 56 тәулікте бақылау құрамымен салыстырғанда (540 мкм), 15 % МК қосылған құрамда шөгілу 390 мкм болып, 27,8 %-ға азайды. Сонымен қатар, беріктік те артты: 56 тәулікте 52,1 МПа-дан 62,0 МПа-ға дейін өсіп, шамамен 19 %-ға артық нәтиже көрсетті.

Шетелдік зерттеулерде де микрокремнезем мөлшерінің оңтайлы деңгейі көрсетілген. Sankar және әріптестері (2020) микрокремнеземнің 10% дозасы бетонның құрылымдық беріктігі мен сыну энергиясын айтарлықтай арттыратынын анықтаған. Зерттеу нәтижелері бойынша 10% МК кезінде сыну энергиясы ең жоғары мәнге жетсе, 15% мөлшерінде бұл көрсеткіш төмендей бастаған, яғни артық микрокремнезем қоспаның морттығын арттырып, тиімділігін азайтады. Бұл мәліметтер біздің тәжірибемізде де расталды: 10–15% диапазонында беріктік жақсарғанымен, 10% МК ең тиімді нәтиже көрсетті. Дегенмен, 15% МК қосылған кезде тұтқырлық едәуір артып, L-box сынағы бойынша өтімділік коэффициенті 0,80-ге дейін төмендеді, яғни жұмысқа қабілеттілік шектік мәнге жақындады. Мұндай қайшылықты суперпластификатордың түрі мен мөлшерін оңтайландыру арқылы шешуге болады.

Алынған нәтижелерді түсіндіруге бірнеше фактор ықпал етеді. Біріншіден, микрокремнезем капиллярлық қуыстардың азаюына алып келеді, бұл судың буланuын баяулатып, шөгілу деформациясын төмендетеді. Екіншіден, кальций гидроксидімен реакцияға түсу нәтижесінде қосымша C-S-H фазалары түзіліп, беріктік артады (Villar-Cociña et al., 2020). Үшіншіден, микрокремнеземнің дисперсті бөлшектері қоспаның тұтқырлығын көбейткенмен, поликарбоксилатты суперпластификатордың әсерінен қажетті қозғалыштылық сақталды: V-тәрізді воронка бойынша 6,2–7,9 с, Абрамс конусы бойынша жайылу 650–720 мм аралығында болып, EFNARC (2005) талаптарына сәйкес келді (EFNARC, 2005).

Зерттеудің белгілі бір шектеулері бар: сынақтар тек бір маркалы цемент пен бір типті суперпластификаторда жүргізілді, үлгілер 56 тәулікке дейін ғана бақыланды, ал МК мөлшерінің жоғарырақ деңгейлері (20% және одан көп) қарастырылмады. Дегенмен, алынған нәтижелер практикалық тұрғыда маңызды. МК енгізу конструкциялардың жарыққа төзімділігін арттырып, ұзақ мерзімді сенімділігін қамтамасыз етуге, сондай-ақ цемент шығынын ішінара төмендету арқылы экологиялық тиімділікті арттыруға мүмкіндік береді.

Ғылыми жаңалығы – Қазақстан жағдайында өндірілетін цемент пен жергілікті микрокремнеземді пайдалана отырып, өздігінен тығыздалатын бетон құрамдарының шөгілуі мен беріктігі кешенді түрде зерттелді. Нәтижелер көрсеткендей, микрокремнезем қосу шөгілу көрсеткіштерін 27,8 %-ға дейін төмендетіп, қысу беріктігін 19 %-ға арттырады. Бұл микрокремнеземнің тиімді мөлшері 10–15 % аралығында екенін көрсетеді.

Алдағы зерттеулерде микрокремнеземді басқа минералдық қоспалармен (цеолит, ұшпа күл, метакаолин т.б.) біріктіру, ұзақ мерзімді шөгілу мен сырғымалы деформациясы (ползучесть) әсерлерін талдау, сондай-ақ фибра енгізген жағдайда МК-ның әсерін кешенді бағалау ұсынылады. Осылайша, алынған нәтижелер теориялық негізді кеңейтіп қана қоймай, Қазақстандағы темірбетон өндірісінде жаңа құрамдарды жобалау үшін практикалық база бола алады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу нәтижелері микрокремнеземнің (МК) өздігінен тығыздалатын бетонның (ӨТБ) шөгу, беріктік және реологиялық қасиеттеріне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті.

МК қосылуы шөгу деформацияларын 27,8 %-ға дейін төмендетті (15 % МК, 56 күнде). Бұл МК-ның пуццоландық белсенділігі мен микрофилл эффектісінің нәтижесі: гидратты фазалардың тез қалыптасуы капиллярлы кеуектілікті азайтады, бұл ылғалдың буланuын шектейді.

Ерте кезеңдерде (1–7 күн) шөгу қарқыны 21,9 %-ға төмендеді, бұл конструкциялардың алдын ала керілуі кезіндегі кернеудің жоғалуын болдырмайды.

МК қоспасының артуы беріктікті 19%-ға дейін арттырды (15 % МК, 56 күнде). МК-ның ұсақ дисперсті құрылымы цемент матрицасын тығыздап, C-S-H фазаларының синтезін жеделдетеді.

Оптималды доза – 10 % МК: 28 күнде беріктік 58,8 МПа (бақылауда 49,6 МПа), ал 56 күнде 61,7 МПа.

МК-ның жоғары дозасы (15 %) пластикалық тұтқырлықты арттырды, бірақ поликарбоксилатты суперпластификатордың дозасын реттеу арқылы қозғалыштылық сақталды (V-тәрізді құйғыш арқылы ағу уақыты ≤8 сек, EN 12350-9:2010. талаптарына сәйкес).

5–10 % МК қосылған құрамдар L-box сынағы бойынша ең жақсы өтімділік коэффициентін көрсетті (H_2/H_1 = 0,89–0,93). 15 % МК жағдайында бұл көрсеткіш 0,80-ге дейін төмендеді, бұл құрылымдық кедергілерді толтыру қабілетінің шектелуін білдіреді.

ӨТБ құрамында МК-ның оңтайлы дозасы 5–10% (цемент массасына). Бұл шөгу мен беріктік арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді.

15% МК қолдану жағдайында суперпластификатордың дозасын арттыру қажет, бірақ бұл құрамдарды тек шектеулі ағындылық талаптары бар конструкцияларға ұсынылады.

Осылайша, МК енгізу арқылы ӨТБ-ның қасиеттерін әртүрлі инженерлік талаптарға сәйкес реттеуге болады:

– 5–10% МК – шөгу (540-тен 405 мкм, 25 % төмендеу) мен қозғалыштылық арасындағы тепе-теңдік қажет болғанда;

– 10–15% МК – беріктік (52,1 -ден 62,0 МПа, +19%) пен төзімділікке жоғары талап қойылатын жағдайда.

Алматының климатында МК қосылған ӨТБ ұзақмерзімді төзімділігі жоғары конструкцияларды (көпірлер, эстакадалар) жобалау үшін тиімді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Daczko, J. A. (2012). Self-Consolidating Concrete: Applying What We Know. Skokie, IL: Portland Cement Association. https://doi.org/10.1201/b11721.

Domone, P. L. (2006). A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete. Cement and Concrete Composites, 28(2), 197–208. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.07.010

EFNARC. (2005). The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use. Retrieved from https://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf.

Flores Medina, N., Barluenga, G., & Hernández-Olivares, F. (2015). Combined effect of polypropylene fibers and silica fume to improve the durability of concrete with natural pozzolans blended cement. Construction and Building Materials, 96, 556–566. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.050.

Sankar, A.S., Hari, R., & Mini, K.M. (2019). Effect of micro silica and aggregate size on cracking of self-compacting concrete. Journal of Civil Engineering and Management, 25(2), 168-176. https://doi.org/10.1680/jcoma.18.00080

Puentes, J., Barluenga, G., Palomar, I. (2015). Effect of silica-based nano and micro additions on SCC at early age and on hardened porosity and permeability. Construction and Building Materials, 81, 154-161. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.053

Lajan, B., Ghafor, K., Mohammed, A. (2019). Testing and modeling the young age compressive strength for high workability concrete modified with PCE polymers. Results in Materials, 1, 100004 https://doi.org/10.1016/j.rinma.2019.100004.

Liang, G., Zhu, H., Li, H., Liu, T., Guo, H. (2021). Comparative study on the effects of rice husk ash and silica fume on the freezing resistance of metakaolin-based geopolymer. Construction and Building Materials, 293, 123486. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123486.

Okamura, H., Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. Journal of Advanced Concrete Technology, 1(1), 5–15. https://doi.org/10.3151/jact.1.5.

Sahmaran, M., Yaman, I. O., Tokyay, M. (2007). Transport and mechanical properties of self-consolidating concrete with high volume fly ash. Cement and Concrete Composites, 29(7), 540–549. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.12.003

Sharaky, I. A., Megahed, F. A., Seleem, M. H., Badawy, A. M. (2019). The influence of silica fume, nano silica, and mixing method on the strength and durability of concrete. SN Applied Sciences, 1, 575–584. https://doi.org/10.1007/s42452-019-0621-2.

Villar-Cociña, E., Rodier, L., Savastano, H., Lefrán, M., Rojas, M. F. (2020). A comparative study on the pozzolanic activity between bamboo leaves ash and silica fume: kinetic parameters. Waste and Biomass Valorization, 11, 1627–1634. https://doi.org/10.1007/s12649-018-00556-y.

Zhang, B., Tan, H., Shen, W., Xu, G., Ma, B., Ji, X. (2018). Nano-silica and silica fume modified cement mortar used as surface protection material to enhance the impermeability. Cement and Concrete Composites, 92, 7–17. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.05.012.

ASTM C157/C157M-08. (2008). Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete. ASTM International.

ASTM C1240-15. (2015). Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures. ASTM International.

EN 12350-2:2019. (2019). Testing Fresh Concrete – Part 2: Slump-Flow Test. Brussels: CEN.

EN 12350-9:2010. (2010). Testing Fresh Concrete – Part 9: V-Funnel Test. Brussels: CEN.

EN 12350-10:2010. (2010). Testing Fresh Concrete – Part 10: L-Box Test. Brussels: CEN.

EN 12350-12:2010. (2010). Testing Fresh Concrete – Part 12: J-Ring Test. Brussels: CEN.

Строительные материалы. (2021). №16. Москва: Изд-во ЦИТП, с. 99. // Stroitel'nye materialy [Construction Materials]. – 2021. – No. 16. – P. 99. (In Russ.)

ГОСТ 10180-2012. (2012). Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ. // GOST 10180-2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obraztsam [Concretes. Methods for determining strength using control specimens]. – Moscow: Standartinform, 2012. (In Russ.)

ГОСТ 24544-2020. (2020). Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести. Москва: Стандартинформ. // GOST 24544-2020. Betony. Metody opredeleniya deformatsiy usadki i polzuchesti [Concretes. Methods for determining shrinkage and creep deformations]. – Moscow: Standartinform, 2020. (In Russ.)

ГОСТ 31108-2003. (2003). Цементы. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ. // GOST 31108-2003. Tsementy. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Cements. General specifications]. – Moscow: Standartinform, 2003. (In Russ.)

ГОСТ 8736-2014. (2014). Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ. // GOST 8736-2014. Pesok dlya stroitel'nykh rabot. Tekhnicheskie usloviya [Sand for construction works. Specifications]. – Moscow: Standartinform, 2014. (In Russ.)

ГОСТ 32824-2014. (2014). Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ. // GOST 32824-2014. Shcheben' i graviy iz plotnykh gornykh porod dlya stroitel'nykh rabot. Tekhnicheskie usloviya [Crushed stone and gravel from dense rocks for construction works. Specifications]. – Moscow: Standartinform, 2014. (In Russ.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Оспанова Асель Тлектесона – техника ғылымдарының магистрі, Satbayev university, Алматы қ., Қазақстан.
Оспанова Асель Тлектесона – магистр технических наук, Satbayev university, г. Алматы, Казахстан
Ospanova Assel Tlektesovna – Master of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: ospanovakzz@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4029-4475



Ахметов Данияр Акбулатович – техника ғылымдарының докторы, профессор, Satbayev university, Алматы қ., Қазақстан
Ахметов Данияр Акбулатович – доктор технических наук, профессор, Satbayev university, г. Алматы, Казахстан
Akhmetov Daniyar Akbulatovich – Doctor of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: d.a.akhmetov@satbayev.university,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0978-6452



Сартбаев Асхат Амандыкович – техника ғылымдарының бакалавры, магистрант, Satbayev university, Алматы қ., Қазақстан
Сартбаев Асхат Амандыкович – бакалавр технических наук, магистрант, Satbayev university, г. Алматы, Казахстан
Sartbayev Askhat Amandykovich – Bachelor of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: sartbayev03@gmail.com,
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7947-069X



Ускембаева Багдат Оралбековна – техника ғылымдарының кандидаты, қауым. Проф., Satbayev university, Алматы қ., Қазақстан
Ускембаева Багдат Оралбековна – кандидат технических наук, ассоц. Проф., Satbayev university, г. Алматы, Казахстан
Uskembayeva Bagdat Oralbekovna – Candidate of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: b.uskembayeva@satbayev.university
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4189-9772



Чуканов Дияс Ерболатұлы – техника ғылымдарының магистрі, Satbayev university, Алматы қ., Қазақстан.
Чуканов Дияс Ерболатұлы – магистр технических наук, Satbayev university, г. Алматы, Казахстан
Chukanov Diyas Erbolatuly – Master of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: d.chukanov@satbayev.university
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8357-4215

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_10
ХҒТАР 67.15.00

ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫН ӨНДІРУДЕ МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРЫН ПАЙДАЛАНУДЫ ТАЛДАУ

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ANALYSIS OF THE USE OF METALLURGICAL INDUSTRY WASTE IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

Ж.К. Ракижанова [1,2]*, **Г.М. Рахимова** [2], **А.К. Алдунгарова** [3], **Ж.Б. Рахимова** [2], **А.Б. Есиркепова** [2]

[1]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан
[2]Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан
[3]ХБК Қазақ бас сәулет-құрылыс академиясы, Алматы қ., Қазақстан
*Жауапты автор: Ракижанова Жанар Каримовна, e-mail: *janarrak@mail.ru*

Түйінді сөздер:
металлургия қалдықтары, шлак, бетон, құрылыс материалдары, радияция өткізбеу, тығыздық, беріктік.

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл мақалада құрылыс материалдарын өндіруде металлургиялық қалдықтарды, атап айтқанда болаттың, домналық және мыс қождарын пайдалануға арналған ағымдағы ғылыми жарияланымдарға аналитикалық шолу берілген. Осы қалдықтардың физикалық-химиялық қасиеттерін және олардың цементті композиттердің құрылымы мен өнәмдәләк сипаттамаларына әсерін зерттейді. Қожды қайта өңдеудің экологиялық және технологиялық аспектілеріне назар аударылады. Қождарды бетон құрамына қосқандағы механикалық қасиеттері, беріктігі , суғатөзімділігі және белсенділігі бойынша зерттеулердің салыстырмалы талдауы жүргізіледі. Соның нәтижесінде кейінгі зерттеудің негізгі тенденциясы мен бағыттары анықталды, аязға төзімділік- бетонның қату және еріту кезіндегі мыс қожымен әрекеті, қожды енгізу кезінде аса ауыр бетонның радиациялық сәуле өткізбейтіндігі және оның иондаушы сәулелерден қорғану қабілеті бойынша зерттеулерді жүргізуді қажет етеді.

Ключевые слова:
металлургические отходы шлак, бетон, строительные материалы, радиоционная непроницаемость, плотность, прочность.

АННОТАЦИЯ

В статье представлен аналитический обзор современных научных публикации, посвещенных использлванию отходов металлургической промышленности, в частности стальных, доменных и медных шлаков, в производстве строительных материалов. Рассмотрены физико-химические свойства данных отходов, их влияние на структуру и эксплуатационные характеристики цементных композитов. Особое внимание уделено экологическим и технологическим аспектам вторичного использования шлаков.

© 2026 **Ж.К. Ракижанова, Г.М. Рахимова, А.К. Алдунгарова, Ж.Б. Рахимова, А.Б. Есиркепова**
Бұл жұмыс Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясы (CC BY 4.0) бойынша таратылады.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Проведен сравнительный анализ исследований по механическим свойствам, долговечности и карбонизационной активности шлаков. Определены основные тенденции и направления дальнейших исследований, морозостойкость – поведение бетонов с МШ призамораживании и оттаивании, радиоционную непроницаемость особо тяжелого бетона при введении МШ и его способности защищать от ионизирующего излучения не были исследованы и требуют уточнения, дальнейшего исследования.

keywords:
metallurgical waste, slag, concrete, building materials, radiation resistance, density, strength.

ABSTRACT

The article provides an analytical review of modern scientific publications on the use of metallurgical industry waste, particularly steel, blast furnace, and copper slag, in the production of building materials. The article examines the physical and chemical properties of these wastes and their impact on the structure and performance of cement composites. Special attention is given to the environmental and technological aspects of the secondary use of slag. A comparative analysis of studies on the mechanical properties, durability, and carbonization activity of slag is conducted. The main trends and directions for further research have been identified. The frost resistance of concretes with MS during freezing and thawing, as well as the radiation impermeability of heavy concrete with MS and its ability to protect against ionizing radiation (gamma rays and neutrons), have not been studied and require further research.

КІРІСПЕ

Заманауи құрылыстағы өзекті мәселелердің бірі айналмалы экономика қағидаттарына негізделген және қоршаған ортаға тигізетін әсерін барынша азайтуға негізделген тұрақты өндіріске көшу болып табылады. Металлургия өндірісінің өсуімен миллиондаған тонна қалдықтар – қож, күл қалдықтары шаң көбейіп келеді. Дәстүр бойынша, бұл қалдықтар айтарлықтай кеңістікті алып экологиялық қауіп тудырады. Қазақстанның тау-кен өнеркәсібіндегі өзекті мәселелердің бірі – техногенді-минералды түзілімдерді өңдеу. Соңғы 80-90 жылда тау-кен және металлургия өнеркәсібінің қалдықтары өнеркәсіптік алаңдарға төгіліп келді. Бұл тек өнеркәсіп салаларымен шектелмейді, энергетикалық сектордың қалдықтары экономикалық бағытына қарамастан, барлық аймақтарда кездеседі. Байыту үрдісінің қалдықтары, жер бетіне шығарылған тқмен сапалы кен, металлургиялық өндіріс кезінде пайда болған қож, клинкер және кек, сондай ақ энергетика секторында қатты отынның жануынан қалған күл мен қож сақталатын қоймалары да елдің барлық аймақтарында бар.

Қазақстанда металлургиялық қалдықтарды, әсіресе қожды құрылыс материалдарына қайта өңдеу өзекті мәселе болып табылады, ол ғылыми-зерттеулерге негізделген, оларды цемент, бетон, жол жабындары және қожблоктарын өндәру үшін құнды шикізатқа айналдыратын технологияларды әзірлеу және қолдану арқылы шешіледі, осылайша қоршаған ортаға әсерді азайтады және табиғи ресурстарды сақтайды.

Металл рудаларын балқытқаннан кейінгі қалдықтары металлургиялық қождар деп аталынады.Олардың өндіріс процесіне, руданың химиялық құрамына және басқа да факторларға байланысты әртүрлі қасиеттері бар. Бұл жасанды силикаттар темір, алюминий, кремний, магний, кальций, күкірт, марганец және басқа да оксидтерден тұрады. Бұл оксидтердің пайыздық мөлшеріне және қождың салқындату жылдамдығы мен жағдайларына байланысты олар жанартау пемзасының немесе қатты граниттің қасиеттеріне ие болуы немесе ұнтаққа айналуы мүмкін. Олардың түстері тау

жыныстарының түстеріне ұқсас болуы мүмкін: ақ, сары, қара, жасыл, сұр, қызғылт және тағы басқа түстерде болады.Олардың тығыздығы мен кеуектілігі әртүрлі және ауыр немесе жеңіл болуы мүмкін, салмағы табиғи тастардың салмағына жақын.

Металлургиялық қождар бірнеше санатқа бөлінеді:

Болат шлактары – құрамында кальций, кремний, темір және магний оксидтері бар болат балқыту пештерінің жанама өнімі. Дұрыс термиялық өңдеуден өткенде ол бетондағы толтырғышты жартылай ауыстыра алады, тығыздық пен тозуға төзімділікті арттырады[Li, Y.,et al. 2024].

Түйіршіктелген домна шлактары цементке минералды қоспа ретінде кеңінен қолданылады (70 % ға дейін алмастырады). Ол су сіңіруін азайтады және сульфат пен хлорид коррозиясына төзімділігін арттырады (Chen L., 2024).

Мыс қождары ұсақ жіне ірі толтырғыш немесе минералды ұнтақ ретінде пайдаланылады. Ұсақ толтырғышты 30 % ға дейін алмастырғанда беріктіктің жоғарылауы байқалады, бірақ ауыр металдардың шайылу мүмкіндігін ескеру қажет (Jin, Q., et al., 2022).

Қазіргі кезде дүние жүзі бойынша қоқыс үйінділерінде миллиондаған тонна орасан зор құнды қара және түсті металлургия қождары жиналған (Nadine M., 2015), түсті металлургия зауыттарында өндірілетін қождар қара металлургия қождарына қарағанда қоршаған ортаға теріс әсер етуі мүмкін. Сондықтан олардан құнды құрамдастарын алып, немесе олардың мөлшері шамалы болған жағдайда – қожды құрылыс материалдарында қолданып өңдеу мәселесі қазіргі таңда маңызды болып тұр (Caijun Shi, 2008).

Құрылыс интустриясы табиғи ресурстардың (құм, қиыршық тас, цемент) тапшылығына тап болып, өндірістік қалдықтарды құрылыс материалдарына қайта өңдеуге қызығушылық тудыруда. Соңғы жылдардың зерттеулері металлургиялық қождардың жеткілікті беріктікті қамтамасыз ете отырып, дәстүрлі бетон компоненттерін ішінара немесе толығымен алмастыра алатынын растайды. Дегенмен, мұндай материалдар ғылыми негіздеуді – қаіпсіз пайдалану шарттарын анықтауды, химиялық тұрақтылық және олардың қоршаған ортаға әсерін бағалауды талап етеді.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Ғылыми зерттеудің теориялық әдістері- жаңа модельдерді, тұжырымдамаларды, гипотезалар мен идеяларды әзірлеу және құру мақсатында бұрыннан бар ақпарат пен теорияларды тереңірек зерттеу кезінде қолданылды.

Аналитикалық шолу 2008-2025 жылдар аралығындағы Scopus, Web of Science және ScienceDirect халықаралық дерекқорларында индекстелген жарияланымдарды талдауға негізделген. Талдау жетекші журналдардың: Construction and Building Materials, Cement and Concrete Composites, Resources, Conservation and Recycling, Journal of Cleaner Production, Materials, Resources, Conservation & Recycling және т.б жарияланымдарын қамтыды.

Әдістемелік зерттеулер: металлургиялық қождардың түрлері бойынша мәліметтерді жүйелеуге, олардың физикалық-химиялық қасиеттерін салыстыруға, бетонның беріктігіне, су сіңіргіштігіне әсерін талдауға, экологиялық тәуекелдер бойынша нәтижелерді жалпылауға(ауыр металдың шайылуы), сәйкес зерттеу бағыттарын анықтауға мүмкіндік берді.

Түсті металлургиялық қож ретінде КАЗЦИНК мыс өндірісінің қожы қолданылды, жақты ұсатқышта ұсатылып, шарлы диірменде ұнтақтау жүргізілді.

Күрделі тербелмелі жағы бар жақты ұсатқыш, ол материалды қысу және ығысу деформациясы арқылы бұзады. Ұсақталған материалдың өлшемі түбіндегі жақтар арасындағы саңылаумен және материалдың физикалық қасиетімен анықталады. Ол ұсатқыш тиеу бункерінен, корпустан, негіз бен оған орнатылған шатуннан, қабылдау контейнерінен және электр қозғалтқышынан тұрады. Корпустың ішінде негізге және шатунға бекітілген екі жағы бар (1-сурет).



а) б)

1-сурет. а – жақты ұсатқыш, б – шарлы диірмен

Ескерту – автордың сынау нәтижесінде зертханада түсірілген суреттер

Мыс қожының нақты тығыздығы МЕМСТ 8735-88 «Құрылыс жұмыстарына арналған құм. Сынақ әдістері» бойынша пикнометриялық әдіспен анықталды.

Пикнометриялық әдіс материалдың нақты тығыздығын анықтауға арналған: Сынаққа дайындық- қождың сынамасын шамамен 30г алынады, ол диаметрі 5мм болатын тесіктері бар електен өткізіледі, тұрақты салмаққа дейін кептіріледі, бөлме температурасына дейін салқындатылады, араластырып екіге бөлінеді. Сынақты жүргізу: материалдың әрбір бөлігі таза кептірілген және алдын-ала өлшенген пикнометьрге салынады, ол материалмен бірге өлшенеді. Содан кейін пткнометрге тазартылған су құйылады, пикнометр оның көлемінің шамамен 2/3 бөлігін толтырады, ішіндегі материал араластырылады және оны құмды ваннаға сәл көлбеу күйде қойылады. Ауа көпіршіктерін кетіру үшін пикнометрдің ішіндегі материал 15-20 минут қайнатылады. Ауа шығып біткен соң пикнометр сүртіліп, бөлме температурасына дейін салқындатылады, пикнометрдегі белгіге дейін тазартылған су құйылады да өлшенеді. Соңында пикнометр материалдан босатылып жуылады.

Ұнтақталған қождың меншікті беті ПСХ-10А құрылғысымен ау өткізгіштігі әдісін қолдана отырып, ұнтақталған материалдың меншікті бетін анықтау жүргізілді. Ұнтақ үлгісі арнайы кюветаға салынып, белгілі бір биіктік пен тығыздыққа дейін тығыздалады. Тығыздалған қабат арқылы ауаның өту уақыты арқылы есептеледі.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Түсті металлургияның қалдықтары қара металлургияның қалдықтарына қарағанда байланыстырғыш және бетон бұйымдарын өндіруде минералды қоспалар ретінде кеңінен қолданыс таба алмады (Jushkov B.S., Semenov S.S, 2014). Қазіргі уақытта мыс балқыту қождарының негізгі кәдеге жаратылуы оларды химия және керамика өнеркәсібінде пайдалану болып табылады. Мыс қождары -цемент немесе толтырғыштарды ішінара және толық ауыстыру ретінде құрылыс индустриясында болашағы зор болуы мүмкін қалдық болып саналатын материал. Бұл штейнді балқыту және мысты тазарту кезінде алынатын жанама өнім. Өндірілетін әрбір тонна мыс үшін жанама өнім ретінде шамамен 2,2-3 тонна мыс қожы түзіледі. Бұл қоршаған ортаға теріс әсер етеді және қайта өңдеуді, яғни оны өндірісте қайта қолдануды қажет етеді. Қайта өңдеудің негізгі бағыттары мен технологияларын қарастырсақ: цемент өнеркәсібінде- металлургиялық қождар цемент қоспаларындағы клинкердің бір бөлігін алмастыра алады, бұл белсенді түрде зерттеліп және қолданылып келеді; құрылыс композиттерін өндіруде - қождар қож-полимерлі

бетон, жеңіл толтырғыштар, қож блоктарын жасауда, сондай-ақ ауыр бетонға қоспа ретінде қолданылуда; жол құрылысында – түйіршіктелген қождар асфальт бетон қоспаларына, жол негіздері мен жағалауларға толтырғыш ретінде қожды портланд-цементтерде – қожды цемент қоспаларына өңдеп қосу бағыттарында қолданылыс табуда.

Қазіргі уақытта ұсақ ұнтақталған мыс қождарын минералды қоспа ретінде пайдаланғанда бетон құрылымының және беріктігінің көрсеткіштеріне әсерін анықтау бойынша зерттеулер жүргізілуде (Kravcov A.V., 2015).

Әдебиеттерді шолу, көптеген елдердің ғалымдарының байланыстырғыш заттарды металлургиялық қалдықтармен ауыстыру мәселелерімен айналысқанын көрсетеді, олардың кейбіреулері (Jin, Q., et al., 2022, Khalifa S. 2009) құмның орнына мыс қожын қосып жоғары эксплуатациялық сипаттамалары бар бетон қасиеттеріне әсерін зерттеген. Мұнда мыс қожының мөлшері жоғарылағанда өнімділігі жоғары бетонның тығыздығы 5 % артады, ал мыс қожының пайыздық сипаты жоғарылағанда жұмыс қабілеттігі тез артады. Құмды мыс қожымен 50 % дейін алмастырғанда, бастапқы бақылау қаспасымен бірдей беріктік берген. Зерттеушілер Мостафа Ханзади және Али Бехнуд (Mostafa Khanzadi, Ali Behnoud, 2009) мыс қожын беріктігі жоғары бетонда ірі толтырғыш ретінде қолдану мүмкіндіктерін қарағаң, мыс қожын ірі толтырғыш ретінде пайдалану жоғары тығыздықты, берік және жақсы өнімділік сипаттамалары бар бетон алуға болады деген қорытындыға келген. Табиғи қиыршықтасты мыс қожымен оңтайлы ауыстыру қысу кезіндегі беріктігін арттырады және толтырғыш бөлшектері мен цемент тасы арасындағы адгезияны жақсартады. Дегенмен, толық ауыстыру бетонның кейбір қасиеттерінің – су сіңіргіштігінің, созу беріктігінің нашарлауына әкелген. Martyna Nie зерттеуі өздігінен тығыздалатын бетонда ірі толтырғыштың орнына мыс қождарын пайдалану экономикалық пайда әкелетінін көрсетті. Талдау көрсеткендей, өздігінен тығыздалатын бетонда мыс қождарын ірі толтырғыш ретінде пайдалану техникалық және экономикалық тұрғыдан тиімді, ірі толтырғышты қожбен толық ауыстырған қоспа ең жақсы беріктік қасиеттерін көрсеткен - 28 күннен кейін қысу беріктігі бақылау үлгісімен салыстырғанда 27 %-ға артқан, мыс қождарын пайдалану өндіріс шығындарын 19 %-ға төмендеткен. Одан әрі тағы зерттеушілер (Kravcov A.V., 2015, Yimmi Fernando Silva, 2024) мыс балқыту қожының бетондағы қосымша байланыстырғыш зат ретінде әсерін және оның бетонның физикалық-механикалық қасиеттеріне қысқа мерзімді қатаю кезеңдерінде цемент тасының құрылымды қалыптастыру процесіне минералды қоспа түрінде әсерін зерттеген. Ұсақ ұнтақталған мыс балқыту қожын қолдану арқылы бетонның беріктігінің өсу динамикасын зерттеудің алынған нәтижелері қоспаның портландцементпен белсенді химиялық реакцияларға түсуін көрсетеді, бұл бетонның беріктік сипаттамаларына оң әсер еткен. Келесі авторлар (Chen, L., 2024, Ахметжанов Т.Б., 2019) қара металлургия қалдықтарынан цементсіз байланыстырғыш ретінде домна пешінің түйіршіктелген қожын 30-70-90 % ретінде пайдаланады. Зерттеу нәтижесінде түйіршіктелген қожды, әкті , гипсті және С-3 суперпластификаторын байланыстырғыш ретінде бетонға қолдану суды аз қажет ететін жаңа әк-шлакты байланыстырғыш алған. Li Y. et al., 2024 ауыр бетон үшін толтырғыш ретінде 0-100 % дейін алмастырумен болат қожын зерттеген, 30-50 % ауыстыру кезінде қысу беріктігі 10-15 %-ға , тығыздығы артқан , қожды термиялық өңдеу мен карбонизациялауды ұсынады.

Металлургиялық шлак құрылыс индустриясы үшін болашағы зор қайталама шикізат болып табылады. Аналитикалық талдау 15-50 % аралығында оңтайлы мөлшерлеу бетонның физикалық және механикалық қасиеттерін жақсартатынын көрсетеді. Қолдану алдын ала өңдеуді қажет етеді (ұсақтау, ұнтақтау, белсендіру).

Аналитикалық зерттеу нәтижелері мыс қожын зерттеген ғалымдардың келесі оң аспектілерін көрсетеді: экологиялық пайдасы- өнеркәсіптік қалдықтардың көлемін және табиғи ресурстарды тұтынуды төмендетеді; ұзаққатөзімділіктің жақсартылуы бетонның

тығыз микроқұрылымының қалыптасуына ықпал етеді, өткізгіштігін төмендетіп және агрессивті ортаға төзімділігін арттырады, мыс қожының кедір-бұдыр бетінің арқасында шлак бөлшектері мен цемент матрицасы арасындағы жақсы адгезия болады, пуцоландық белсенділік және толтырғыш әсеріне байланысты қатаюдың соңғы кезеңдерінде беріктіктің жоғарылауы, қоспаның жайылымдылығының жақсаруы және су қажеттілігінің төмендеуі; пайдалану қауіпсіздігі: қатайғаннан кейін мыс шлактарынан ауыр металлдар цемент тасының құрылымында бекітіледі және шайылып кетпейді. Ал кемшіліктеріне: қождың төмен белсенділігіне байланысты бетонның алғашқы беріктігінің төмендеуі, шамадан тыс қож мөлшері кеуектілікті арттырып, механикалық қасиеттерін нашарлатуы, су сіңіруінің жоғарылауы және кеуектердің пайда болуы, қышқылдық жағдайда ауыр металды шаймалаудың ықтимал қаупі, қождың реактивтілігін арттыру үшін қосымша белсендіру қажеттілігі, қождың физикалық-химиялық қасиеттерінің алған жеріне байланысты құрамын және сапасын бақылауын талап етілуі. Нәтижесінде келесі бағыттар бойынша: аязға төзімділігі – бетонның қату және еріту кезіндегі қожбен әрекеті; аса ауыр бетонның құрамына қожды енгізгенде радиациялық сәуле өткізбейтіндігі және оның иондаушы сәулелерден (гамма – сәулелер, нейтрондар) қорғау қабілеті бойынша зерттеулер жүргізілмеген.

Қазіргі уақытта ядролық технологиялар әртүрлі салаларда, соның ішінде ауыл шаруашылығында, өнеркәсіпте, ғылыми-зерттеу зертханаларында және медицинада кеңінен қолданылады. 1990 жылдардан бастап Қазақстанда атом элетр станциясын салу аймақтың өзін-өзі энергиямен қамтуды қамтамасыз ететін маңызды экономикалық жоба болып саналды. Жоспар бойынша құрылыс кезінде ең жоғары халықаралық стандарттарға сәйкес келетін заманауи технологиялар мен материалдарды қолдану болып табылады. АЭС құрылысы-бұл сапа мен қауіпсіздіктің халықаралық стандарттарына сәйкестікті талап ететін ұзақ мерзімді жоба. Қазақстанда АЭС салу үшін, барлық жердегі сияқты, ерекше жоғары сапалы материалдар қажет болады: жоғары маркалы бетон, реактор мен қорғаныс қабаттары үшін арнайы болаттар, сондай ақ қазіргі заманғы гидрооқшаулағыш және жылуоқшаулағыш материалдар; сонымен қатар құрылыс секторындағы отандық ресурстар мен құзіреттерді барынша пайдалануды көздейді. Әсіресе құрылымдық материалдарға талаптар жоғары: радиациялық сәуледен қорғауға арналған жоғары беріктіктегі арнайы бетон маркалары, іргетастар. Осыған орай атом электр станциясын салу үшін иондаушы сәулелерді(гамма-сәулелер, нейтрондар) әлсіретететін сәуле өткізбейтін материалдар қажет. Гамма - сәулеленуден қорғаудың тиімділігі ең алдымен материалдың тығыздығына және ауыр элементтердің болуына байланысты.

Тығыз толтырғыштарды қолдану есебінен аса ауыр бетон жоғары тығыздыққа ие. Гидратталған бетон түрлерінде химиялық байланысқан судың жоғарылығы сонымен қатар нейтрондарды тиімді баяулатады және жұтады. Аса ауыр бетонның сәуле өткізбейтіндігі оның иондаушы сәулелену бөгеуі немесе әлсіретуі, адамдарды, жабдықты және қоршаған ортаны оның зиянды әсерінен қорғау қабілетін білдіреді.

Бұл қасиет материалдың жоғары тығыздығына (2500 ккг/м^3-тан астам) және ауыр толтырғыштарды қолданатын арнайы композицияға байланысты.

Мыс қожының тығыздығын анықтау үшін жақты ұсақтағышта ұсақтап, содан кейін шарлы диірменде 8 сағат ұнтақтау жүргізілді. 2-суретте КАЗЦИНК өнеркәсібінің мыс қождары көрсетілген.

Пикнометриялық әдіс – пикнометр деп аталатын арнайы калибрленген шыны ыдыста үлгіні өлшеу арқылы сұйықтықтардың, қатты заттардың және газдардың тығыздығын анықтауға арналған дәл зертханалық әдіс. Әдіс берілген көлемді алып жатқан заттың массасын өлшеуді және оны Архимед принципі мен ығысу заңына негізделген сол температурадағы сол көлемдегі тазартылған судың массасымен салыстыруды қамтиды.



а) б)

2-сурет. а – Мыс балқыту қождары, б – шарлы диірменде ұнтақтау
Ескерту – автордың сынау нәтижесінде зертханада түсірілген суреттер

Мыс балқыту қожының нақты тығыздығы пикнометриялық әдіспен анықталды, нәтижелер материалдың жоғары нақты тығыздығын көрсетті (3-сурет).



3-сурет. Пикнометриялық әдіспен нақты тығыздықты анықтау
Ескерту – автордың сынау нәтижесінде зертханада түсірілген суреттер

Пикнометриялық әдіс бойынша нақты тығыздық (ρ) г/см^3 келесі формула бойынша анықталады:

$$\rho = \frac{(m - m_1)\rho_в}{m - m_1 + m_2 - m_3}$$

Мұнда m – пикнометрдің қожбен бірге салмағы, m_1 – бос пикнометрдің салмағы, m_2 – тазартылған сумен пикнометрдің салмағы, m_3 – ауа көбіктерін кетіргеннен кейінгі пикнометрдің қожбен және тазартылған сумен салмағы, $\rho_в$ – судың тығыздығы, 1 г/см^3 тең.

Сынаудың орташа мәнін табу үшін, сынак екі пикнометрде бірдей жүргізілді.

№ 1 ші пикнометрдің мәндері: m – 48,8, m_1 – 34,0, m_2 – 135,2, m_3 – 146,0

$$\rho = \frac{(48{,}8 - 34{,}0) * 1}{48{,}4 - 34{,}0 + 135{,}2 - 146{,}0} = \frac{14{,}4 * 1}{3{,}6} = 4$$

№ 2 ші пикнометрдің мәндері: m – 53,0, m_1 – 37,8, m_2 – 137,8, m_3 – 149,0

$$\rho = \frac{(53{,}0 - 37{,}8) * 1}{53{,}0 - 37{,}8 + 137{,}8 - 149{,}0} = \frac{15{,}2 * 1}{4} = 3{,}8$$

Сынаудың орташа мәнін табу:

$$\rho_{ср} = \frac{4 + 3{,}8}{2} = 3{,}9 \text{ г/см}$$

Нәтижесі осы тектес қождардың стандартты мәндерінің жоғарғы шекарасына жақсы сәйкес келеді, бұл өлшеудің жоғары дәлдігін және қож үлгісіндегі ауыр металл оксидтерінің жоғары мөлшерін көрсетеді. Оның жоғары тығыздығы аса ауыр бетондар өндірісінде ірі толтырғыш ретінде қолдануға жарамдылығын көрсетеді.

Ары қарай ПСХ-10А аспабының көмегімен материалдың меншікті беті анықталды.

Жаңа материалдар химиялық және физикалық қасиеттерін мұқият бақылауды қажет ететін салаларда барған сайын қолданылуда. Мұндай материалдардың сапасы мен тиімділігін бағалаудың маңызды параметрлерінің бірі – олардың меншікті бетінің ауданы.

Меншікті бет ауданы – дисперсті материалдардың сипаттамасы, ол дисперсті фазаның бірлік массасына немесе көлеміне шаққандағы бетаралық бет ауданын көрсетеді. Меншікті бет ауданы неғұрлым жоғары болса, химиялық реакциялар мен сұйықтықтар мен газдармен әрекеттесуді қоса алғанда, әртүрлі процестер үшін қолжетімді белсенді бет ауданы соғұрлым көп болады. Меншікті бет ауданы сорбенттердің, катализаторлардың, құрылыс материалдарының, ұнтақтардың және наноматериалдардың қасиеттерінде маңызды рөл атқарады. Меншікті бет ауданы материалдың кеуектілігіне тікелей байланысты: кеуектілік неғұрлым жоғары болса, сыртқы әсерлерге қолжетімді бет ауданы соғұрлым көп болады.

Меншікті бетін анықтауға арналған мәліметтер: салмағы m – 10,5 грамм сынама дайындау, тығыздығы 3,9 г/см^3 тең, материал қабатының биіктігі h – 0,8 тең. Құрылғының тұрақты мәнін, сынама салмағын, қабат биіктігін, материалдың тығыздығын және ұнтақ қабаты арқылы берілген ауа көлемінің өту уақытын қолдана отырып, құрылғы автоматтандырылған әдіспен материалдың меншікті бетін анықтады, меншікті бетінің көрсеткіші 724 см^2/г тең болды (3-сурет).



а) б)



в)

3-сурет. ПСХ-10А құрылғысымен меншікті бетті анықтау:
а – сынама тығыздалған аспап құрылғысы кювета, б – мыс қожы,
в – ПСХ-10А құрылғысы есептеу көрсеткішімен
Ескерту – автордың сынау нәтижесінде зертханада түсірілген суреттер

Меншікті бетінің төмен көрсеткіші материалдың ірі ұнтақталғанын көрсетеді. Меншікті бетінің ауданы ұсақтау дәрежесіне тура пропорционал. Бөлшектер неғұрлым ұсақ болса, соғұрлым олардың бірлік салмақтағы жалпы бетінің ауданы артады, ал меншікті бетінің ауданы жоғары болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Мыс балқыту зауытының қождары (МҚ), әдетте, ауыр металл құрамына қойылатын экологиялық талаптарға сай келеді және құрылыс материалдарында қауіпсіз пайдаланылуы мүмкін. Зерттеулер көрсеткендей, МҚ цемент негізіндегі композиттерге қосылған кезде, ауыр металдар адсорбция, капсуляция және иондық алмастыру арқылы материал құрылымында мықтап бекітіліп, олардың шайылуы мен қоршаған ортаға қауіптерін іс жүзінде жояды.

Мыс қождары – мысты балқыту мен тазартудың жанама өнімі. Мыс қождарын қолданудың кең таралған әдістеріне қайта өңдеу, металды қалпына келтіру және абразивті құралдар, шатыр түйіршіктері, кескіш құралдар, абразивтер, плиткалар, әйнек, жол негізін салу, теміржол балласты және асфальт төсемдері сияқты қосылған құнды өнімдерді өндіру жатады. Мыс қождарын қайта пайдалану қарқынының артуына қарамастан, оның жылдық өндірісінің көп бөлігі әлі күнге дейін қоқыс полигондарына немесе қоймаларға тасталады. Мыс шлағын қайта пайдаланудың ең перспективалы қолданылу салаларының бірі – цемент және бетон өндірісі. Көптеген зерттеушілер цемент, ерітінді және бетон өндірісінде мыс қождарын клинкер, цементті алмастыру және ірі және ұсақ толтырғыштар үшін шикізат ретінде пайдалануды зерттеді. Цемент пен бетонда мыс қождарын пайдалану барлық байланысты салаларға, әсіресе мыс қожының айтарлықтай мөлшері өндірілетін аймақтарға әлеуетті экологиялық және экономикалық пайда әкеледі.

Бетондағы ұсақ толтырғыштың орнына мыс балқыту зауытының қожын - оңтайлы мөлшерлеу (30-40%), жеткілікті су/ц қатынасы және қатаю уақыты сақталған жағдайда пайдалану перспективалы және негізделген. Бұл экологиялық және техникалық артықшылықтарды ұсынады. Дегенмен, қож сапасымен, қоспаның қасиеттерінің тұрақтылығымен және рұқсат етілген пропорциялардан асып кеткен кездегі ықтимал нашарлаумен байланысты тәуекелдерді ескеру қажет.

Мақаланы қорытындылай келе, көптеген зерттеушілердің мыс қождарын бетон құрамына қосу зерттеулерінің әртүрлі этапта жүргізілгендігін, бетонның эксплуатациялық қасиеттеріне әсерін анықтағандарын және де қай бағытта зерттеулердің болмағанын қарастырдық.

Мыс қожы бойынша ары қарай зерттеулер -оны аса ауыр бетон үшін ірі толтырғыш ретінде қолданудың теориялық және эксперименттік бағытында оның радиациялық сәулелерді(гамма-сәулелер, нейтрондар) өткізбеушілігін, қорғау қабілетін айқындайтын болады.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын айтады.
ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Қаржыландыру көзі болмады
АЛҒЫС: Авторлар әріптестеріне әдістемелік қолдау және пайдалы талқылаулар үшін, сондай-ақ мақаланың сапасын жақсартуға ықпал еткен құнды ескертулер үшін анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Piatak N. M., Parsons M. B. & Simons R. R. (2015). Characteristics and environmental aspects of slags: A review. Applied Geochemistry, 57, 236–266.

Shi C., Meyer C. & Benoud A. (2008). The use of copper slags in the production of cement and concrete. Resources, Conservation & Recycling, 52(10), 1115–1120.

Юшков Б. С., Семенов С. С. Применение отходов металлургических предприятий для производства бетона // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2014. Т. 1. С. 556–558. // Jushkov B. S. & Semenov S. S. (2014). Primenenie othodov metallurgicheskikh predpriyatii dlya proizvodstva betona [Application of metallurgical enterprise waste for concrete production]. Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse, 1, 556–558. (In Russ.).

Кравцов А. В., Виноградова Е. А., Бородина Л. М., Цыбакин С. В. Исследование динамики набора прочности бетона с использованием отходов медеплавильного производства // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 9. С. 47–50. // Kravtsov A. V., Vinogradova E. A., Borodina L. M. & Tsybakin S. V. (2015). Issledovanie dinamiki nabora prochnosti betona s ispol'zovaniem otkhodov medeplavil'nogo proizvodstva [Study of

strength gain dynamics of concrete using copper-smelting waste]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 9, 47–50. (In Russ.).

Li Y. et al. (2024). A review of the application of steel slag in concrete. Construction and Building Materials.

Ren Z. et al. (2023). Application of steel slag as an aggregate in concrete. Journal of Cleaner Production.

Jin Q. et al. (2022). A review of the influence of copper slag on the properties of concrete. Materials.

Biava G. et al. (2024). Accelerated carbonation of steel slag and their valorisation. Resources, Conservation & Recycling.

Godbole P. et al. (2025). Industrial slags: Hazard potential and reuse options. Environmental Materials Review.

Chen L. (2024). Conversion of waste into sustainable construction materials: A comprehensive review. ScienceDirect.

Al-Jabri K. S., Hisada M. & Al-Saidi A. H. (2009). Copper slag as a substitute for sand for high-performance concrete. Cement and Concrete Composites.

Khanzadi M. & Behnoud A. (2009). Mechanical properties of high-strength concrete with the addition of copper slag as a coarse aggregate. Construction and Building Materials, 23(6), 2183–2188.

Silva Y. F., Burbano-Garcia C., Araya-Letelier G. & Gonzalez M. (2024). Short- and long-term experimental characteristics of concrete with copper slag: Evaluation of mechanical and physical properties. Case Studies in Construction Materials, 20.

Aubakirova Z., Rakhimov M., Rakhimova G., Kulisz M. & Muzdybayeva T. (2024). Development of composition of fine-grained concrete based on ash-and-slag wastes for additive technology of manufacturing small architectural forms. Technobius, 4(4), 69. https://doi.org/10.54355/tbus/4.4.2024.0069

Rahimov M.A., Aubakirova Z.A., Bakirbaeva A., Kulisz M. & Aldungarova A.K. (2023). Fine-grained concrete based on waste from thermal power plants and metallurgical enterprises of the East Kazakhstan region. Bulletin of D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 1, 313–323. https://doi.org/10.51885/1561-4212_2023_4_313

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Ракижанова Жанар Каримовна – Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің докторанты, Қарағанды қ., Қазақстан

Ракижанова Жанар Каримовна – докторант Карагандинского технического университета имени Ә. Сагынова, г. Караганда, Казахстан

Rakizhanova Zhanar – PhD student at A. Sagynov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

e-mail: janarrak@mail.ru,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9930-7007,



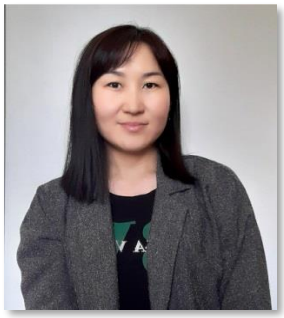
Рахимова Галия Мухамедиевна – техника ғылымдарының кандидаты, «Ә.Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті», Қарағанды , Қазақстан
Рахимова Галия Мухамедиевна – кандидат технических наук, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, Караганда, Казахстан
Rakhimova Galiya Mukhamedievna – Candidate of Technical Sciences, A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: g.rakhimova@ktu.edu.kz,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0947-0212



Алдунгарова Алия Кайратовна – Қауымдастырылған профессор, доктор (PhD), халықаралық білім беру корпорациясының (ХББК, ҚазБСҚА) құрылыс мектебінің зерттеуші профессоры, Алматы қ., Қазақстан
Алдунгарова Алия Кайратовна – Ассоциированный профессор, доктор (PhD), Профессор-исследователь Школы строительства Международной образовательной корпорации (МОК, КазГАСА), г. Алматы, Казахстан
Aldungarova Aliya Kairatovna – Associate Professor, Doctor (PhD), Research Professor at the School of Construction of the International Educational Corporation (IOC, KazGASA), Almaty, Kazakhstan
e-mail: Liya1479@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9248-7180



Рахимова Жанара Байболсыновна – техника ғылымдарының магистрі, «Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті», Қарағанды қ., Қазақстан
Рахимова Жанара Байболсыновна – магистр технических наук, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, Казахстан
Rakhimova Zhanara Baybolsinovna – Master of Technical Sciences, A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: zh.rahimova@ktu.edu.kz,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9263-4278



Есиркепова Айым Бакытбековна – PhD докторы, «Ә. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті», Қарағанды қ., Қазақстан
Есиркепова Айым Бакытбековна – доктор PhD, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, Казахстан
Yessirkepova Aiym Bakytbekovna – Doctor of PhD, A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: yessirkepova85@mail.ru ,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4524-5135

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_11
SRSTI 67.09.31

HYDRATION AND STRUCTURE FORMATION OF MULTICOMPONENT MODIFIED BINDERS: MECHANISMS AND PROPERTIES

КӨП КОМПОНЕНТТІ МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БАЙЛАНЫСТЫРУШЫ ЗАТТАРДЫҢ ГИДРАТТАНУЫ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫ: МЕХАНИЗМДЕРІ МЕН ҚАСИЕТТЕРІ

ГИДРАТАЦИЯ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СВЯЗУЮЩИХ: МЕХАНИЗМЫ И СВОЙСТВА

D.T. Sartayev[1], **A.M. Baisarieva**[1], **A.O. Sagybekova**[2,3*], **Y.Y. Yelubayeva**[1], **S. Jumadilova**[1]
[1]International Educational Corporation, 050028, Almaty, Kazakhstan
[2]L.B. Goncharov Kazakh Automobile and Road Institute
[3]I. Razzakov Kyrgyz State Technical University
*Corresponding author: Akmaral Sagybekova, a-orazbekovna@inbox.ru

Keywords:
cement stone, multicomponent binder, hydration, structure formation, superplasticizer, metallurgical waste, portlandit

ABSTRACT
This paper presents the results of studies on hydration and hardening processes of multicomponent modified binders containing active mineral and chemical additives. The aim of the research was to establish the patterns of cement stone structure formation and identify the factors contributing to the improvement of its strength and durability. It is shown that the high strength of the modified binder is due to the formation of stable low-basic calcium hydrosilicates generated through the pozzolanic reaction between portlandite and active amorphous silica included in the complex additives. Mechanochemical activation of the components increases the number of active centers, accelerates hydration and intensifies hardening. X-ray diffraction and thermal analyses confirmed the presence of calcium hydrocarbonaluminates, whose formation enhances sulfate resistance. Electron microscopy revealed a denser microstructure of the cement stone and close intergrowth of portlandite and C–S–H phases, which contributes to the formation of a monolithic, low-porosity structure. The results demonstrate that adjusting the binder composition and curing conditions allows targeted regulation of hydrate morphology and optimization of the phase composition. This ensures the production of high-strength and chemically-resistant concretes under reduced-temperature curing, expanding the application potential of multicomponent binders in modern construction.

© 2026 **D.T. Sartayev, A.M. Baisarieva, A.O. Sagybekova, Y.Y. Yelubayeva, S. Jumadilova**
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Түйінді сөздер:
цемент тас, көп компонентті тұтқыр, гидратация, құрылымның қалыптасуы, суперпластификатор, металлургия қалдықтары, портландит

ТҮЙІНДЕМЕ

Жұмыста "Сикамент–FF-N" суперпластификаторын және түсті металлургия қалдықтарын (мырыш қожы және полиметалл кендерін байыту өнімдері) қолдана отырып, портландцемент клинкеріне негізделген көп компонентті модификацияланған тұтқыр жүйелерді ылғалдандыру және құрылымдау процестерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Химиялық модификатордың 0,5–1,0% - с бірге 15-30% мөлшерінде минералды қоспаларды енгізу кальций силикаттарының гидратациясының қарқындылығын, портландит құрамының азаюын және цемент тасының тығыз құрылымын қалыптастыруға ықпал ететін төмен негізді гидросиликаттардың түзілуін қамтамасыз ететіні көрсетілген. Рентгенографиялық және термиялық зерттеулер $CA(OH)_2$ мөлшерінің 23,6-дан 17,3 % дейін төмендегенін растады, бұл C_3S ылғалдану дәрежесінің 75-76 % дейін өсуімен және жылу-ылғалдылық өңдеуден кейін тастың беріктігінің 61-70 МПа-ға дейін жоғарылауымен бірге жүреді. Электронды-микроскопиялық бақылаулар ерте кезеңдерде ине тәрізді өсінділердің жедел түзілуін және құрылымның тығыздалуын анықтады. Ерімейтін кальций гидрокарбоалюминаттарының түзілуі сульфатқа төзімділікті 0,95-1,00 дейін арттырады. Көп компонентті жүйелердің механикалық-химиялық активтенуі белсенді орталықтардың өсуіне ықпал ететіні, поззоланикалық реакцияның жүруін жеделдететіні және біртекті супрамолекулалық құрылымның пайда болуын қамтамасыз ететіні анықталды. Әзірленген көп компонентті модификацияланған тұтқыр беріктікке, тығыздыққа және химиялық төзімділікке қойылатын кешенді талаптарды қанағаттандырады және әртүрлі функционалдық мақсаттағы жоғары сапалы бетондарды өндіру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Ключевые слова:
цементный камень, многокомпонентное вяжущее, гидратация, структурообразование, суперпластификатор, отходы металлургии, портландит

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты исследования процессов гидратации и структурообразования многокомпонентных модифицированных вяжущих систем на основе портландцементного клинкера с применением суперпластификатора «Сикамент–FF-N» и отходов цветной металлургии (цинкового шлака и продуктов обогащения полиметаллических руд). Показано, что введение минеральных добавок в количестве 15–30 % совместно с 0,5–1,0 % химического модификатора обеспечивает интенсификацию гидратации силикатов кальция, уменьшение содержания портландита и образование низкоосновных гидросиликатов, способствующих формированию плотной структуры цементного камня. Рентгенографические и термические исследования подтвердили снижение количества $Ca(OH)_2$ с 23,6 до 17,3 %, что сопровождается ростом степени гидратации C_3S до 75–76 % и увеличением прочности камня после тепловлажностной обработки до 61–70 МПа. Электронно-микроскопические наблюдения выявили ускоренное образование игольчатых новообразований в ранние сроки и более плотное уплотнение структуры. Образование труднорастворимых гидрокарбоалюминатов кальция повышает сульфатостойкость до 0,95–1,00. Установлено, что механохимическая активация многокомпонентных систем способствует росту активных центров, ускоряет протекание пуццоланической реакции и обеспечивает получение однородной надмолекулярной структуры. Разработанное многокомпонентное модифицированноевяжущее удовлетворяет комплексным требо-

ваниям к прочности, плотности и химической стойкости и может быть использовано для производства высококачественных бетонов различного функционального назначения.

INTRODUCTION

Modern high-performance binders are developed using complex multicomponent systems with active mineral and chemical additives. Their primary goal is to achieve improved strength and operational characteristics of concrete with reduced energy consumption. An important direction in this field is the utilization of industrial by-products, which can serve as active pozzolanic additives and contribute to the optimal structure formation of cement stone.

The modern development of construction materials science is characterized by a growing interest in multicomponent modified binders, driven by the need to improve the performance characteristics of construction materials, reduce the carbon footprint of cement production, and promote the efficient utilization of industrial by-products. In this context, particular importance is attached to studies aimed at gaining a deeper understanding of the hydration and structure formation processes that govern microstructure development and, consequently, the physical and mechanical properties of binder systems (Marchon & Flatt, 2016).

Hydration of binders is a complex multistage physicochemical process involving the dissolution of primary clinker minerals, nucleation and growth of hydration products, and the formation of a spatial structure of cement stone. When multicomponent systems incorporating mineral and chemical modifiers—such as slag, fly ash, reactive silica additives, micro- and nano-fillers, and superplasticizers—are used, these processes become significantly more complex. They are accompanied by changes in hydration kinetics, phase composition, and the morphology of hydration products (Izotov & Ibragimov, 2015).

As demonstrated by Zhakipbekov et al. (2021), the incorporation of complex mineral additives into low-clinker binders leads to an increased degree of hydration, the formation of low-basic calcium silicate hydrates, and a densification of the cement stone microstructure. Similar conclusions were drawn by Wilińska and Pacewska (2022), who reported that four-component binders with a high content of supplementary cementitious materials exhibit redistribution of hydration phases and a reduced portlandite content due to intensified pozzolanic reactions.

Considerable attention in contemporary research is devoted to micro- and nanoscale structure formation, as the characteristics of the C–S–H gel largely determine the durability and mechanical performance of binder systems. Studies by Masoero et al. (2018) showed that the density and nanostructure of the C–S–H gel have a decisive influence on self-desiccation processes, sorption properties, and shrinkage deformations. The application of infrared spectroscopy and electron microscopy enables detailed investigation of the evolution of hydration products and the interaction mechanisms between organomineral admixtures and the hydration phases (Zagorodnyuk & Sumskoy, 2019).

In recent years, increasing research efforts have focused on controlling hydration kinetics and rheological properties of binder systems. Li et al. (2024) demonstrated that targeted regulation of dissolution and crystallization processes of hydration phases using specialized additives allows the design of binders with tailored properties. Furthermore, Varshney et al. (2017) identified different structural aging mechanisms occurring during cement paste hydration, which significantly affect both early-age and long-term strength development.

Thus, the analysis of existing literature indicates that hydration and structure formation of multicomponent modified binders are governed by a combination of factors, including the mineralogical and chemical composition of the system, component fineness, type and dosage of modifying additives, and curing conditions. Despite the substantial body of experimental

research accumulated to date, the interrelationships between hydration mechanisms, microstructure evolution, and performance properties of binders remain insufficiently systematized, highlighting the relevance and scientific significance of the present study.

MATERIALS AND METHODS

The research object was a multicomponent binder containing up to 45% non-ferrous metallurgy waste. The mixture comprised Portland cement clinker (64–84.5%), carbonate-containing tailings (5–15%), quartz-containing tailings (10–20%), and a modifier (0.5–1%). Curing was carried out at 65 °C under a 2+4+1 h regime. Differential thermal analysis, X-ray diffraction, and electron microscopy were used to study structural development.

In this study, cement clinker from «Standard-Cement LLP», as well as synthetically produced clinker minerals C_3S, β-C_2S, C_3A, and C_4AF, Standard volsk sand, hydrated lime from the Sas-Tyube lime works, residues from the Kentau processing plant (20 wt%), zinc slag from the «Achpolymetall» combine (15 wt%), and the superplasticizer «Sikament-FF-N» in an amount of 0.5–1.0 wt% based on the mass of C_3S were used. The sand from the Nikolaevskoye deposit (Almaty region) had a bulk density of 1467 kg/m³, a net density of 2650 kg/m³, a pore volume of 43%, and a fineness modulus of 2.2–2.4. Its mineralogical composition (wt%) is shown in Table 1.

Table 1. Mineralogical composition of sand, % by weight

Sand	quartz	feldspar	mica	calcite	clay impuritie
	34.5-36.3	52.8-54.2	1-9 – 2.3	3.6 – 4.0	up to 4%
Note – compiled by the authors					

Table 2. Chemical composition of technogenic products, % by weight

Waste name	SiO_2	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3+ TiO_2	MgO	K_2O+ Na_2O	BaO	calcination losses
Tailings of the Kentau processing plant	11.7	24.24	1.7	1.53	13.8	2.0	10.20	30.35
zinc slag from the «Achpolymetall» combine	30.1	18.20	32.95	-	4.68	0.85	-	8.65
Note – compiled by the authors								

For the manufacture of heavy concrete, sulfate-resistant Portland cement CEM I 42.5H SS GOST 22266-2013 Standard Cement LLP was used as a binder, the properties of which are shown in Table 3.

Table 3. Characteristics of sulphate-resistant Portland cement LLP "Standard-Cement" CEM I 42,5N SS

Name of indicators, unit of measurement	The actual value
Fineness of grinding, %, (residue on the sieve) no more	0,3
Normal density of cement paste, %	28,7
W/C cone spread	0,38 114

end of table 3

Name of indicators, unit of measurement	The actual value
Setting time, h:min: – initial, not less than – final, not more than	 3-20 4-20
Compressive strength, MPa, at the age of: – 7 days – 28 days	 33,9 46,9
Soundness of cement	withstood
Specific surface area, cm^2/g	3250
SiO_2 content,%	22,93
Al_2O_3 content,%	4,22
Fe_2O_3 content,%	5,08
CaO content,%	64,47
MgO content,%	2,48
C_3A content,%	2,77
Note – compiled by the authors	

X-ray diffraction (XRD) analysis of the materials was performed using a URS-50I X-ray diffractometer. Diffraction patterns were recorded from flat powdered specimens rotating in the plane perpendicular to the goniometer axis at a rotational speed of 25 rpm. Data were collected over a 20 angular range of 20°–61°.

The measurements were carried out using ScKα radiation with a nickel filter of 14 μm thickness. The X-ray tube was operated at an anode current of 11.5 mA. The counter slit dimensions were 0.25 × 8 mm, while the primary beam was limited by a 1 × 5 mm slit. The recording constant was set to R°–IV, with an intensity recording range of D = 1000 impulses/s. The chart paper advance speed was 360 mm/h.

Differential thermal analysis was performed using a MOM-1000 derivatograph (Germany). The measurements were carried out in an air atmosphere over a temperature range of 25–1000 °C. The heating rate was maintained at 7.5 °C/min.

Thermal transformations were identified based on the thermogravimetric (TG), differential thermogravimetric (DTG), and differential thermal analysis (DTA) curves, which reflect mass loss, the rate of mass loss, and differential temperature changes, respectively.

Spectral analysis of the cement stone was performed using a two-channel Spekord spectrophotometer. The microstructural characteristics of the cement stone, including crystal morphology, size, spatial distribution, and crystal type, were investigated using REM-200 electron microscopes. In addition, three-dimensional images of the microstructure were obtained, and the chemical composition of selected local regions of the cement stone was

RESULTS AND DISCUSSION

Experimental results have shown that the complex additives contribute to the acceleration of hydration, an increase in the amount of chemically bound water, and the formation of stable hydrate phases. At the age of three days of curing, the formation of calcium hydrocarbonaluminates is observed, which ensures improved sulfate resistance. Microscopic studies revealed densification of the cement stone structure and intergrowth of portlandite blocks with the C–S–H phase.

The production of high-performance binders of a new generation is currently associated with the use of complex component systems aimed at obtaining high-strength concretes for

various functional applications with advanced structural and operational properties (Neville A.M., Brooks J.J., 2010).

The study demonstrated that the hydration of C_3S is accompanied by the intensive formation of portlandite and calcium hydrosilicates. The incorporation of complex additives altered the phase composition, reduced the $Ca(OH)_2$ content, and promoted the formation of additional calcium hydrosilicates and hydrocarbonaluminates.

After 28 days of curing, the degree of C_3S hydration in the reference sample was 71,5 %, whereas in compositions containing zinc slag and polymetallic ore beneficiation residues it reached 75–76 %. The amount of portlandite decreased from 23,6 % (control) to 17,3 % when 20 % of mineral additives were introduced.

The compressive strength of the cement stone based on the multicomponent binder after heat-moisture treatment reached 61–70 MPa, while the sulfate resistance coefficient was within 0,95–1,0.

Electron microscopy revealed accelerated formation of needle-like hydrates at early ages and the development of a denser structure due to the interaction between portlandite and the reactive silica contained in the additives.

The development of high-performance binders of a new generation currently relies on the use of complex component compositions aimed at producing high-quality concrete for various functional applications with improved physical and operational properties. The concept underlying the creation of such binders is the principle of targeted technological control at all stages– involving the selection of active components, optimization of mix compositions, application of chemical modifiers, and other technological measures.

Following this approach, a multicomponent binder was developed containing up to 45 % non-ferrous metallurgy waste (polymetallic ore beneficiation residues and zinc slag) and the superplasticizer «Sikament–FF-N» [1, 16].

The influence of «Sikament–FF-N» on the hydration and hardening of calcium silicates was investigated.

According to X-ray diffraction analysis Figure 1, the phase composition of C_3S without additives at the ages of 3 and 7 days mainly consists $Ca(OH)_2$ (d =0,493; 0,310; 2,262; 0,192; 0,179; 0,148 nm), the C_2S hydrate (d=0,304; 0,270; 0,247; 0,235; 0,189; 0,179; 0,165; 0,154 nm), tobermorite-like calcium hydrosilicate CSH_2 (d = 0,281; 0,183; 0,167 nm) and anhydrate C_3S (d =0,277; 0,267; 0,244; 0,198; 0,194; 0,177; 0,163; 0,149 nm).

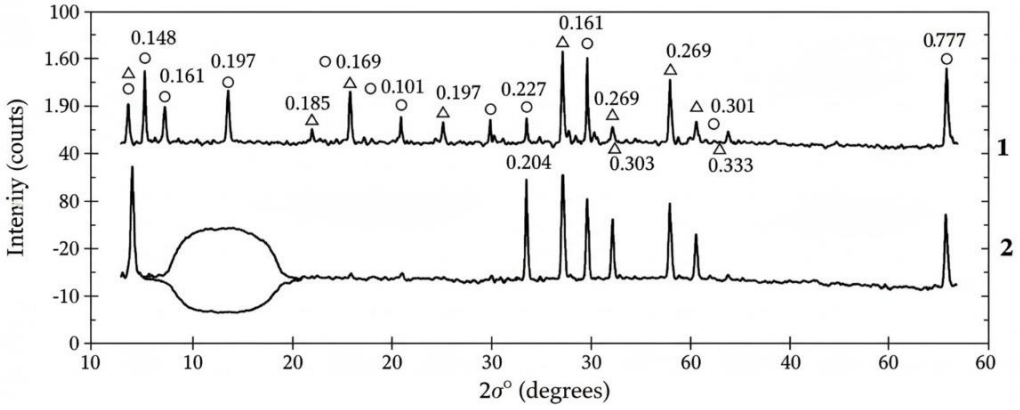


Figure 1. X-ray images of tailings from the Kentau concentrating plant (1), Zinc slag from the Achpolymetal plant (Kentau) (2)

Note – compiled by the authors

The presence of these hydration products was also confirmed by thermographic analysis. At around 200°C, the thermogram shows an endothermic peak typical of CSH_2. Endothermic effects at 540 and 760°C correspond to the decomposition of Ca $(OH)_2$ and α-hydrate of C_2S respectively.

By the age of 28 days, the amount of unhydrated clinker phases significantly decreased, which correlates with the increase in the degree of C_3S hydration–50%, 62,3% and 71,5% after 3,7 and 28 days, respectively Table 4.

It is known that in the X-ray diffraction pattern of pure calcium hydroxide, the intensity of the (0001) plane with d =0,490 nm is 70-80% of that of the (0011) plane with d =0,262 nm, due to the preferential formation of large $Ca(OH)_2$ crystals. However, in the diffraction pattern of C_3S, hydrated for 3 days, the intensity of the $Ca(OH)_2$ line at d = 0,490 nm exceeds that of the line at d = 0,262 nm.

Table 4. Effect of Active Mineral Additives on the Degree of Hydration of C3S stone (author's materials)

Additive, %	Degree of hydration, % after days:		
	7	27	28
Without additive	50	62,3	71,5
Zinc slag from the «Achpolimetal plant» (Kentau), 15*	54	65,7	75,8
Tailings of the Kentau processing plant, 30*	52,4	61,4	74,0
Note – compiled by the authors			

*containing 0,5% superplasticizer «Sikament-FF-N» by mass of C_3S.

During further hydration of C3S the intensity of the diffraction line with d =0.262 nm increases, and after 28 days of curing, the X-ray diffraction patterns show an equalization of the intensity of these lines. This indicates the formation of finer and predominantly oriented secondary crystals of portlandite.

The development of such binders is based on the principle of targeted control of technology at all stages, including the use of active components, optimization of compositions, application of chemical modifiers and other technological approaches (Le Chatelier H. and other, 2002)..

Following this principle, a multicomponent binder containing up to 45% non-ferrous metallurgy waste and chemical additives was developed. As shown in studies , the additives used do not increase the normal consistency of the paste and, unlike traditional systems, do not retard but rather accelerate the hydration rate of the binder. When combined with plasticizing additives and optimal curing regimes, such binders can be applied in the production of concrete and reinforced-concrete elements.

The binder composition includes the following mass percentages: Portland cement clinker 64–84.5%, carbonate-containing tailings 5–15%, quartz-containing tailings 10–20%, and a modifier 0.5–1.0%. The binder is produced by co-grinding the clinker and beneficiation tailings to a specific surface area of 300–330 m^2/kg.

Heat-moisture treatment of experimental samples was conducted under a 2 + 4 + 1 h regime at a maximum temperature of 65 °C. In this case, the maximum processing temperature was reduced by 20 °C compared to conventional treatment, and the duration of the isothermal holding stage was decreased by 3 hours.

Differential thermal analysis was carried out using Q-1000 and Q-1500 derivatographs (F. Paulik, I. Paulik, L. Erdey system), and X-ray diffraction was performed on a DRON-UM1 unit.

Electron microscopy (REM-200 and EVM-100 BR) was used to examine the morphology, size, spatial arrangement, and appearance of crystals, obtain three-dimensional images, and determine the composition of local areas of the cement stone. Quantitative evaluation of micrononuniformity distribution (2–100 nm) in the submicroscopic structure of cement stone was performed using small-angle scattering (SAS).

Table 5 presents the properties of the developed modified binder. The test results show that the compressive strength after heat treatment ranges from 61 to 70 MPa, while the sulfate resistance coefficient is 0.95–1.00.

Table 5. Properties of modified binders

Binder composition, mass %				Compressive strength after steaming, MPa	Sulfate resistance coefficient
Portland cement clinker	Carbonate-containing tailings	Quartz - containing tailings	Modifier		
84.5	5	10	0.5	61.5	0.95
74.2	10	15	0.8	63.0	0.98
64.0	15	20	1.0	70.0	1.0
Note – compiled by the authors based on their researches					

The advantage of the multicomponent modified binder lies in the fact that during hydration, calcium aluminates interact with calcium and magnesium carbonates contained in the carbonate-bearing tailings to form sparingly soluble hydrocarbonaluminates. The formation of these stable hydrates promotes the intensification of binder hardening and increases sulfate resistance.

In the X-ray diffraction pattern of the hydrated binder at the age of three days, diffraction lines with d-spacings of 0.380, 0.286, 0.249, and 0.166 nm appear, corresponding to calcium hydrocarbonaluminate $3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}CaCO_3{\cdot}11H_2O$ formed in the contact zone.

Differential thermal analysis confirms the XRD observations. The DTG curves and the results of moisture loss in the cement stone (Table 6) during heating demonstrate a strong correlation between the heating temperature and the ability of hydrate phases to retain water. The complex additives contribute to an increase in the amount of chemically bound water.

It can be assumed that these additives—beneficiation wastes—enhance the number of crystallization centers and promote the growth of intra- and intercrystalline voids formed during the development of a supramolecular layered structure. Such voids are capable of retaining water molecules in a highly oriented state, where their rotational degrees of freedom are inhibited and translational motion is partially restricted [10]. Within a monolayer, these water molecules possess significant mobility, creating favorable conditions for the easy sliding of the cement gel, which in turn facilitates the appearance of irreversible plastic deformations.

In the IR spectrum of the cement stone after one day, in the wavenumber range 700–1200 cm^{-1}, a broad absorption band appears, split into components characteristic of calcium silicates. Absorption maxima at 930, 885, and 840 cm^{-1} indicate the presence of unhydrated C_3S.

Table 6. Mass Loss of Cement Stone from Modified Binder (MMB) According to DTA Data

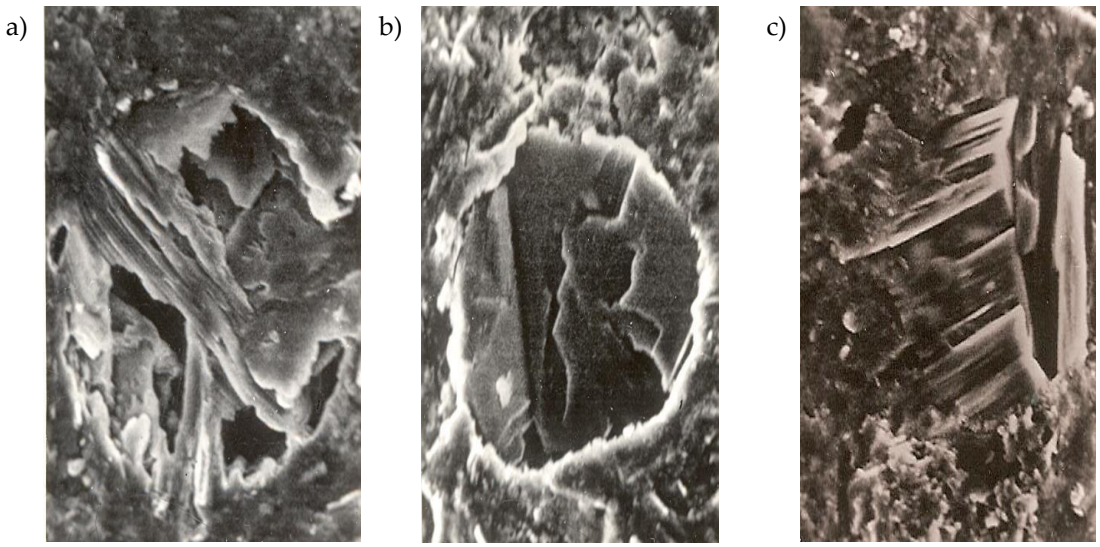
Type of binder	Mass loss in % in temperature ranges, ºC			Relative mass loss, %
	20-200	20-600	20-1000	
PC M400	4.9	13.5	23	36
MMB	5.2	12.3	22	41
Note – compiled by the authors based on their researches				

At the age of three days, the absorption band at 940 cm^{-1} observed in Portland cement clinker shifts toward higher wavenumbers and is detected at 970 cm^{-1} when complex additives are introduced. This shift indicates the polycondensation of [SiO_4] tetrahedra, which leads to a decrease in the basicity of the hydrosilicates in the modified binder.

Electron microscopy was used to examine the morphology, size, spatial arrangement, and appearance of crystals, obtain three-dimensional images, and determine the composition of local areas within the cement stone. The processes of growth and interpenetration of CH and C–S–H phases, as well as changes in hydrate morphology, were investigated. A quantitative assessment of micrononuniformity distribution (from 2 to 100 nm) in the submicroscopic structure of the cement stone was performed using the small-angle scattering method.

The complex additives significantly alter the rate of hydrate nucleation. As early as three minutes after mixing the binder with water, the first needle-like formations appear, indicating an intensified hydration process. At a magnification of 2000×, micropores measuring 2–3 μm are observed. At the age of three days of curing, hexagonal prismatic portlandite crystals are detected at the bottom of such pores, indicating a strong initial supersaturation of the liquid phase with Ca^{2+} ions. Further recrystallization and growth of hexagonal portlandite crystals follow the laws of collective growth and occur metasomatically.

During the hardening process, portlandite reacts with the active silica contained in the complex additive. As a result, the most typical form of C–S–H (Type I) is formed, represented by large but extremely thin sheets or foil whose thickness corresponds to that of the primary structural layer. Unlike the control sample, in the cement stone modified with complex additives, portlandite blocks tightly intergrow with the cement gel, forming a monolithic structure of gel and CH phases or zones of their mutual penetration (Figure 2).



a – formation of amorphous portlandite (at 90 days of curing);
b – micropores of the cement stone are densified with thin C–S–H (Type I) foil-like layers (at 180 days of curing);
c – intergrowth of portlandite blocks with gel-like C–S–H.

Figure 2. Microstructure of the modified binders, ×2000
Note – compiled by the authors based on their researches

Changes in the supramolecular structure are reflected in the logarithmic SAS curves of the cement stone under conditions of a dry hot climate. A slight increase in microporosity results from continued hydration during curing. Improvements in the submicroscopic structure

are observed with a minor increase in the effective micropore radius from 10.5 to 10.8 nm, which may be associated with the filling of larger pores (over 100 nm) with calcium hydrosilicates.

Analysis of the calculated maximum, minimum, and effective micropore radii as a function of curing time and conditions showed that the smallest variation in pore radii (Rmax → Rmin) occurs at 14 days of curing.

CONCLUSIONS

1. In the developed compositions of modified multicomponent binders, the fundamental principles of producing low-water-demand binders have been implemented. Mechanochemical activation leads to partial dispersion of binder grains along weak bonds and to mechanical destruction of structural elements, significantly increasing the number of active centers per unit volume.

2. The high strength of cement stone based on the modified multicomponent binder is determined by the composition and structure of the hydrate formations, which are predominantly represented by long-fibrous, low-basic calcium hydrosilicates formed on the surfaces of existing crystals (epitaxial effect), along with the absence of visible structural defects.

3. To ensure the formation of a cement stone structure characterized by minimal porosity and increased strength, it is necessary to stabilize the composition of hydrate formations, prevent their phase transitions, regulate the hydration process, and achieve an optimal ratio of crystalline and gel phases in the hydration products through the proper selection of mineral additives and curing conditions.

4. An additional source of low-basic calcium hydrosilicates is the pozzolanic reaction, during which portlandite released in the hydration of clinker minerals is absorbed by the amorphous silica of the complex additive, thereby preventing ettringite crystallization at later stages of hardening.

5. The results of the conducted research demonstrate the feasibility of controlled regulation of hydration processes and strength development of cement stone, which can be achieved by adjusting the mineralogical composition of cement and the types of mineral and chemical additives.

It was established that the use of non-ferrous metallurgy wastes (zinc slag and polymetallic ore beneficiation tailings) in multicomponent modified binder systems leads to an intensification of clinker silicate phase hydration. When 15–30 wt.% of mineral additives are introduced, the degree of C_3S hydration increases from 71.5% (control composition) to 75–76% after 28 days of curing.

2. X-ray diffraction and thermal analyses demonstrated that the incorporation of complex mineral additives is accompanied by a significant reduction in portlandite content. Its amount decreases from 23.6% in the control composition to 17.3% at the optimal additive dosage, indicating the active development of pozzolanic reactions and the formation of secondary hydrate phases.

3. Scanning electron microscopy revealed that the modified systems are characterized by a more homogeneous and denser microstructure compared to the control cement stone. The structure is dominated by fine-fibrous and needle-shaped low-basic calcium hydrosilicates (C–S–H), which uniformly fill the intergranular space and ensure effective densification of the cement stone.

4. Morphological analysis showed that zinc slag particles possess an irregular angular shape, a highly developed surface, and a microporous structure. These features promote an increase in the number of active crystallization centers and accelerate the nucleation of hydrate formations at the early stages of hardening.

5. It was established that the combined use of mineral additives and the superplasticizer Sikament–FF-N produces a synergistic effect, manifested in accelerated hydration of calcium silicates, suppression of coarse-crystalline portlandite formation, and the development of a more stable gel structure of the cement stone.

6. The developed multicomponent modified binders exhibit high physical and mechanical properties: the compressive strength of the cement stone after heat-and-moisture treatment reaches 61–70 MPa, while the sulfate resistance coefficient ranges from 0.95 to 1.00, confirming enhanced durability and service reliability of the material.

7. The obtained results confirm the possibility of targeted regulation of structure formation processes and hydration kinetics through optimization of the mineral composition and dosage of non-ferrous metallurgy wastes. This approach opens prospects for reducing clinker content in cement and improving the environmental efficiency of construction materials.

Overall, the study demonstrates that the use of zinc slag and polymetallic ore beneficiation tailings as components of multicomponent binders is scientifically substantiated and technologically feasible. Their application ensures the formation of a dense, stable, and durable cement stone structure and expands the potential for practical utilization of technogenic wastes in the construction industry.

REFERENCES

Izotov, V. S., & Ibragimov, R. A. (2015). Hydration products of Portland cement modified with a complex admixture. Inorganic Materials, 51(4), 384–389. https://doi.org/10.1134/-S0020168515040091

Li, X., Grassl, H., Hesse, C., & others. (2024). Hydration control additives for ordinary Portland cement. Communications Materials, 5, Article 41. https://doi.org/10.1038/s43246-023-00441-9

Marchon, D., & Flatt, R. J. (2016). Mechanisms of cement hydration. Cement and Concrete Research, 95, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.018

Masoero, E., Cusatis, G., & Di Luzio, G. (2018). Nanostructure and densification of C–S–H gel. Cement and Concrete Research, 109, 145–158. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.-2018.04.004

Varshney, A., Gohil, S., & others. (2017). Rheology of hydrating cement paste: Transition between two aging mechanisms. Cement and Concrete Research, 100, 404–415. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.07.006

Wilińska, I., & Pacewska, B. (2022). Hydration processes of four-component binders with high content of supplementary cementitious materials. Materials, 15(6), 2154. https://doi.org/10.3390/ma15062154

Zagorodnyuk, L. H., & Sumskoy, D. A. (2019). Study of the hydration processes of modified binders by infrared spectroscopy. Materials Science Forum, 974, 97–103. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.97

Zhakipbekov, S. K., Aruova, L. B., Toleubayeva, S. T., Ahmetganov, A. A., & Utkelbaeva, A. K. (2021). Hydration and structure formation of modified low-clinker binders. Magazine of Civil Engineering, 103(3), Article 10302. https://doi.org/10.34910/MCE.103.2

Neville A.M., Brooks J.J. Concrete Technology. Prentice Hall, 2010. 392 p.

Shoaib M.M., Balaha M.M., Abdel-Rahman A.G. Influence of cement kiln dust on the mechanical properties of concrete. Cement and Concrete Research, 2000, no. 30, pp. 371–377.

Olson R., Neubauer G., Jennings H. Damage to the pore structure of Portland cement paste by mercury intrusion. Journal of the American Ceramic Society, 1997, no. 9, pp. 2454–2458.

Le Chatelier H. Crystalloids against colloids in the theory of cements. Transactions of the Faraday Society, 2002, no. 14, pp. 8–11.

Michaelis W. Der Erhartungsprozess der kalkaltigen hydraulischen Bindemittel. Kolloid-Zeitschrift, 1999, no. 5, pp. 9–22.

Zhakipbekov Sh.K. Multicomponent binder based on mining industry waste. Complex Use of Mineral Resources, Almaty, 1994, no. 4, pp. 61–64.

Zhakipbekov Sh.K., Shaltabaeva S.T. Modified binders and specific features of their hydration process. Architecture. Construction. Design, Tashkent, TASI, 2009, no. 3–4, pp. 28–30.

Mironov S.A., Malinsky E.N. Fundamentals of Concrete Technology in Dry Hot Climate Conditions. Moscow: Stroyizdat, 1985. 316 p.

Zhakipbekov Sh.K., Akmalaev K.A. High-strength concrete based on local low-clinker binders. In: Proceedings of the International Scientific Conference "Rakhmatulin–Ormonbekov Readings". Materials Science, Bishkek, 2013, no. 2, pp. 193–195.

Smirnov B.I. Dislocation Structure and Strengthening of Crystals. Leningrad: Nauka, 1981. 236 p.

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Сартаев Даулет Турысович – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Казахстан
Сартаев Даулет Турысович – кандидат технических наук, **ассоциированный профессор**, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан
Daulet Turysovich Sartayev – candidate of technical sciences, associate professor, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan
e-mail: d.sartaev@kazgasa.kz,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2817-0955



Байсариева Анара Мырзакуловна – техника ғылымдар магистрі, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан
Байсариева Анара Мырзакуловна – магистр техническиз наук, Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан
Baisariyeva Anara Myrzakulovna – Master of Technical Sciences, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: abajsarieva@mail.ru, abaysarieva@mok.kz
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7473-8820



Сагыбекова Акмарал Оразбековна – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Қазақ автомобиль жолдары институты. Л.Б. Гончарова, Алматы қ., Қазақстан
Сагыбекова Акмарал Оразбековна – кандидат технических наук, профессор, Казахский автомобильнодорожный институт им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан
Sagybekova Akmaral Orazbekovna – Candidate of Technical Sciences, Professor, L.B. Goncharov Kazakh Automobile and Road Institute, Almaty, Kazakhstan
e-mail: e-mail: a-orazbekovna@inbox.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5679-5816



Елубаева Еркежан Ермухамбеткызы – техника ғылымдар магистрі, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан
Елубаева Еркежан Ермухамбеткызы – магистр техническиз наук, Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан
Yelubayeva Yerkezhan Yermukhanbetkyzy – Master of Technical Sciences, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: er.elubaeva@kazgasa.kz
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-8433-529X



Джумадилова Сауле Жакинбековна – Философия докторы (PhD), Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Казахстан
Джумадилова Сауле Жакинбековна – доктор философии PhD, Международной образовательной корпорации, Алматы, Казахстан
Jumadilova Saule Zhakinbekovna – Doctor of Philosophy (PhD), International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan.
e-mail: s.dzhumadilo@kazgasa.kz,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2198-5112

https://doi.org/10.51885/3134-8041_JACS_2026_1_12
МРНТИ 67.01.37

НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И ВЫЗОВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫС СЕКТОРЫНЫҢ ТҰРАҚТЫ ДАМУЫНЫҢ НОРМАТИВТІК НЕГІЗІ МЕН ҚИЫНДЫҚТАРЫ

REGULATORY FRAMEWORK AND CHALLENGES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTION SECTOR OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Р.Ж. Шарипов [1*], **К.К. Алимова** [2], **З.Р. Шәріп** [1], **М.Н. Бердали** [2]
[1]Казахстанско-Немецкий университет, г. Алматы, Казахстан
[2]Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан
*Автор-корреспондент: Шарипов Рашид Жапарович, e-mail: sharipov@dku.kz

Ключевые слова:
энергосбережение, энергоэффективность, нормативно-технические документы, строительство, адаптация стандартов, устойчивое строительство.

АННОТАЦИЯ
В статье рассматриваются ключевые недостатки существующей нормативно-технической базы в сфере энергосбережения и повышения энергоэффективности в строительстве. Особое внимание уделяется проблемам недостаточной адаптации заимствованных европейских стандартов к отечественным климатическим и экономическим условиям, а также распространённым неточностям при корректировке расчётных коэффициентов. Отмечаются проблемы устаревшего оформления нормативных документов, затрудняющие их практическое применение в современных условиях. В рамках исследования выявлены основные вызовы, стоящие перед отраслью, и обозначены направления, требующие совершенствования нормативного регулирования для обеспечения реального повышения энергоэффективности строительных объектов. Также рассматриваются вопросы внедрения системы энергоаудитов, сертификации зданий, гармонизации национальных подходов с европейской практикой и актуализации методик расчёта энергопотребления с учётом современных технологий и требований устойчивого строительства.

Түйінді сөздер:
энергия үнемдеу, энергия тиімділігі, нормативтік-техникалық құжаттар, құрылыс, стандарттарды

ТҮЙІНДЕМЕ
Мақалада құрылыстағы энергия үнемдеу және энергия тиімділігін арттыру саласындағы қолданыстағы нормативтік-техникалық базаның негізгі кемшіліктері қарастырылады. Ерекше назар қарызға алынған еуропалық стандарттардың отандық климаттық және экономикалық жағдайларға жеткіліксіз бейімделу проблемаларына,

© 2026 **Р.Ж. Шарипов, К.К. Алимова, З.Р. Шәріп, М.Н. Бердали**
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/

бейімдеу, тұрақты құрылыс.

сондай-ақ есептік коэффициенттерді түзетудегі кең таралған дәлсіздіктерге аударылады. Нормативтік құжаттарды қазіргі заманғы жағдайда іс жүзінде қолдануды қиындататын ескірген ресімдеу мәселелері атап өтіледі. Зерттеу аясында сала алдындатұрған негізгі сын-қатерлер анықталып, құрылыс объектілерінің энергия тиімділігін нақты арттыру үшін нормативтік реттеуді жетілдіруді қажет ететін бағыттар белгіленді. Сонымен қатар, энергия аудиттері жүйесін енгізу, ғимараттарды сертификаттау, ұлттық тәсілдерді еуропалық тәжірибемен үйлестіру және қазіргі технологиялар мен тұрақты құрылыс талаптарын ескере отырып, энергия тұтынуды есептеу әдістемелерін жаңарту мәселелері қарастырылады.

keywords:
energy saving, energy efficiency, regulatory and technical documents, construction, adaptation of standards, sustainable construction.

ABSTRACT
The article examines the key shortcomings of the existing regulatory and technical framework in the field of energy saving and energy efficiency in construction. Particular attention is given to the insufficient adaptation of borrowed European standards to domestic climatic and economic conditions, as well as common inaccuracies in the adjustment of calculation coefficients. The problems of outdated formatting of regulatory documents, which complicate their practical application in modern conditions, are also highlighted. Within the scope of the study, the main challenges facing the industry are identified, and areas requiring improvement in regulatory governance to ensure a real increase in the energy efficiency of construction projects are outlined. Additionally, the article addresses the implementation of energy audit systems, building certification, harmonization of national approaches with European practices, and the updating of energy consumption calculation methodologies in accordance with modern technologies and sustainable construction requirements.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс формирования устойчивой экономической модели в Казахстане невозможно рассматривать без решения проблем, связанных с энергосбережением и повышением эффективности использования энергетических ресурсов (Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», №541-IV ЗРК от 13.01.2012 года). Несмотря на богатые запасы углеводородного сырья и относительно развитую энергетическую инфраструктуру, Казахстан делает особый акцент на энергосбережение и повышение энергоэффективности как на одно из приоритетных направлений государственной энергетической стратегии (Концепция развития сферы энергосбережения и повышения энергоэффективности Республики Казахстан, постановление Правительства Республики Казахстан от 20.03.2023 г. №264).

На сегодняшний день в стране сохраняется значительный потенциал повышения энергоэффективности, который, по мнению экспертов, сопоставим с приростом объемов добычи первичных энергоресурсов. Низкая эффективность использования энергии уже является одной из причин её относительного дефицита и создает препятствия для устойчивого экономического развития (Шарипов Р.Ж., 2020). Энергоемкость казахстанской экономики всё ещё значительно превышает показатели развитых стран, что свидетельствует о необходимости системного подхода к снижению энергозатрат на всех этапах функционирования экономики (UNECE, 2020).

Рациональное использование энергетических ресурсов открывает широкие возможности для снижения производственных затрат, стимулирования экономического

роста и повышения конкурентоспособности национальной экономики. При этом Казахстан сталкивается с рядом стратегических вызовов: ростом потребности в электроэнергии в связи с развитием промышленного сектора, транспортной инфраструктуры и жилого фонда, необходимостью строительства новых источников энергии, включая атомные и возобновляемые источники, а также усилением экологических требований (Кудревич О.О., 2014; Тарнагурский А.В., 2016).

По данным Комитета по государственному энергетическому надзору, на строительную отрасль приходится около 40-45 % всей потребляемой энергии в стране (Шарипов Р.; Ержанов С., 2020). Жилой сектор использует в 2-3 раза больше тепловой энергии на один квадратный метр, чем аналогичные здания в европейских государствах. Основная часть жилищного фонда Казахстана представлена многоквартирными домами с централизованными системами теплоснабжения и электроснабжения (Белый А., 2024). При этом многие здания обладают низкой теплоизоляцией, отсутствием современных энергосберегающих инженерных решений, автоматизированных систем регулирования и приборов учета энергоресурсов.

В этих условиях ключевыми инструментами повышения энергоэффективности становятся разработка и внедрение эффективной нормативной базы. На протяжении последних лет в Казахстане формировалась система нормативных документов, регулирующих проектирование и строительство зданий с учётом принципов энергосбережения. Основная цель этих документов – создание условий для сокращения энергопотребления, повышения качества инженерных систем и снижения выбросов парниковых газов.

Особое внимание уделяется адаптации международного опыта к отечественным условиям. Европейские стандарты, особенно в рамках Директивы 2010/31/ЕС о энергопотреблении зданий (EPBD), служат ориентиром при разработке национальных нормативов (Директива Европейского парламента и Совета 2010/31/ЕС). Однако прямая имплементация зарубежных требований без учета климатических, экономических и технологических особенностей Казахстана может приводить к неэффективному расходованию ресурсов и дополнительным затратам.

Таким образом, формирование комплексной, эффективной и адаптированной к национальным условиям нормативной базы является не только инструментом рационального использования энергетических ресурсов, но и ключевым фактором устойчивого развития экономики, снижения нагрузки на энергетический сектор и повышения экологической безопасности страны. Введение современных норм энергоэффективности на всех стадиях жизненного цикла зданий – от проектирования до эксплуатации – позволит Казахстану приблизиться к мировым стандартам «зелёного строительства» и реализовать стратегические цели государственной энергетической политики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Энергетическая эффективность и энергосбережение являются одними из ключевых факторов устойчивого экономического развития (ASHRAE 90.1, 2019; UNECE, 2020). В условиях роста потребления энергии и необходимости минимизации влияния строительного сектора на окружающую среду особое значение приобретает создание эффективной нормативно-правовой базы и методик оценки энергоэффективности зданий и сооружений. Целью настоящего исследования является комплексный анализ нормативно-технической базы в области энергосбережения и повышения энергоэффективности в строительстве Республики Казахстан, выявление существующих проблем, а также разработка рекомендаций по её модернизации с учетом современных технологий, климатических условий, экономических реалий и международного опыта (Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», №541-IV ЗРК от13.01.2012 года).

1. Объект исследования

Объектом исследования являются нормативно-правовые и методические документы, регулирующие вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности в строительной отрасли. В качестве объектов анализа рассматриваются:

- Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» и его поправки 2022-2024 годов;
- Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии»;
- Закон Республики Казахстан «О теплоэнергетике»;
- Постановления Правительства РК, регулирующие энергопотребление и проведение экспертизы проектной документации (№ 1192 от 13 сентября 2012 года, № 1784 от 29 декабря 2012 года, № 264 от 28 марта 2023 года и др.);
- Указы Президента РК, включая Указ № 577 от 30 мая 2013 года «О Концепции перехода к зелёной экономике»;
- Строительные нормы и правила (СН РК) и своды правил (СП РК), включая следующие: «Тепловая защита зданий», «Энергосберегающие здания», «Проектирование энергопассивных зданий», «Проектирование энергоэффективных коттеджей с использованием альтернативных источников энергии», «Тепловые сети», «Строительная теплотехника» и др.;
- Международные стандарты и директивы, в частности EPBD (Directive 2010/31/EU), а также национальные методики оценки энергопотребления, разработанные совместно с экспертами РУП «Стройтехнорм» Республики Беларусь и АО «КазНИИпИ Строительства и Архитектуры».

2. Методы исследования

Для достижения целей исследования применялся комплексный методологический подход, включающий аналитические, сравнительные, экспертные, статистические и моделирующие методы.

2.1. Аналитический и сравнительный методы

Аналитический метод применялся для системного изучения действующей нормативно-правовой базы и выявления её соответствия международным стандартам, в частности директивам ЕС (Directive 2002/91/EC, 2002; Директива 2010/31/ЕС). Сравнительный анализ позволил определить пробелы и несовпадения между отечественными нормами и европейскими подходами, выявить необоснованные упрощения при переносе коэффициентов, недостаточную детализацию требований к инженерным системам и энергоэффективности зданий. Особое внимание уделялось анализу следующих аспектов:

- полнота охвата понятий энергоэффективности;
- соответствие требований к тепловой защите и энергоемкости оборудования современным стандартам;
- структурирование нормативных документов и их доступность для специалистов;
- степень адаптации европейских норм к климатическим и экономическим условиям Казахстана.

2.2 Системный анализ

Метод системного анализа позволил исследовать взаимодействие законодательной базы, нормативных документов и реальной практики проектирования и эксплуатации объектов (Zhigulina & Yurchenko, 2024). Особое внимание уделялось:

- оценке жизненного цикла зданий (проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция);
- анализу влияния инженерных систем, теплоизоляции, вентиляции, освещения и кондиционирования на общий показатель энергоэффективности;

• выявлению ограничений и недостатков действующих норм при внедрении новых технологий, включая возобновляемые источники энергии и автоматизированные системы управления энергопотреблением.

2.3 Экспертные методы

Для уточнения практических аспектов реализации нормативов и выявления скрытых проблем были проведены консультации с:

• экспертами АО «КазНИИпИ Строительства и Архитектуры» (Шарипов Р.Ж., 2020);
• специалистами РУП «Стройтехнорм» Республики Беларусь;
• представителями органов государственного надзора;
• проектными организациями и строительными компаниями.

Были использованы методы анкетирования, интервью и экспертных оценок для определения степени соответствия реальных объектов проектным требованиям, выявления проблем при эксплуатации и проблем оценки эффективности существующих методик расчета.

2.4 Статистический и нормативный анализ

Статистический анализ включал обработку данных по потреблению энергии в жилых и общественных зданиях на основе (Белый А., 2024; Strielkowski W., Gorina L. 2023):

• средних и фактических показателей энергопотребления;
• данных по энергоемкости квартир и административных зданий;
• анализа динамики изменения нормативных коэффициентов энергопотребления.

Были сопоставлены показатели энергопотребления объектов с проектными значениями и нормативными требованиями СН и СП РК, что позволило выявить отклонения и оценить эффективность внедряемых норм.

2.5 Моделирование и адаптация методик расчета

На основе анализа действующих методик и международного опыта была разработана и апробирована система оценки энергоэффективности зданий с учетом всех источников энергопотребления (Himeur Y., Ghanem K., et al., 2020 ; Himeur Y., Ghanem K., et al., 2021):

• отопление;
• вентиляция;
• кондиционирование;
• горячее водоснабжение;
• электроснабжение;
• использование альтернативных источников энергии.

Моделирование позволило:

• оценить потенциальную экономию энергии при внедрении энергоэффективных решений;
• определить влияние различных факторов (теплоизоляции, систем автоматизации, ВИЭ) на общие показатели энергопотребления;
• адаптировать европейские методики расчета к климатическим и экономическим условиям Казахстана.

3. Этапы исследования

Исследование проводилось поэтапно:

1.Сбор и систематизация нормативных документов

• Анализ действующих законов, постановлений, СН и СП РК;
• Сбор методических материалов по расчету энергоэффективности зданий;
• Изучение международного опыта, включая директивы и стандарты ЕС.

2. Критический анализ и выявление проблем

• Определение пробелов в нормативной базе;

• Выявление несоответствий расчетных коэффициентов;

• Оценка формальности подходов к сертификации и экспертизе проектной документации;

• Анализ проблем постэксплуатационного мониторинга.

3. Экспертная оценка и сбор мнений специалистов

• Проведение интервью и анкетирования проектных и строительных организаций;

• Выявление практических барьеров и проблем внедрения энергоэффективных решений;

• Оценка эффективности существующих методик расчета и энергосертификации.

4. Разработка рекомендаций по совершенствованию нормативной базы

• Предложения по гармонизации национальных стандартов с европейской практикой;

• Разработка методики присвоения классов энергоэффективности зданий;

• Рекомендации по внедрению системы регулярных энергетических обследований и сертификации.

5. Верификация и апробация методик расчета

• Тестирование расчетных моделей на пилотных объектах;

• Сравнение фактических данных по энергопотреблению с расчетными;

• Определение потенциального эффекта внедрения энергоэффективных технологий.

4. Научная новизна и практическая значимость

Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе к анализу нормативной базы с учетом климатических условий, уровня развития строительной отрасли, экономических факторов и международного опыта. Впервые была предложена адаптированная методика расчета энергоэффективности зданий и сооружений, учитывающая полный спектр источников энергопотребления, включая отопление, вентиляцию, электроснабжение и горячее водоснабжение, а также возможность интеграции возобновляемых источников энергии и современных систем автоматизации.

Практическая значимость заключается в том, что разработанные рекомендации и методические подходы могут быть использованы:

• органами государственного регулирования для совершенствования нормативной базы;

• проектными организациями и строительными компаниями для повышения энергоэффективности зданий;

• научными учреждениями для дальнейших исследований в области энергосбережения;

• инвесторами и финансовыми институтами при оценке проектов с точки зрения рационального энергопотребления.

Таким образом, комплекс использованных материалов и методов исследования позволяет получить всестороннюю и объективную оценку действующих норм, выявить системные проблемы и определить пути их решения с целью повышения энергоэффективности строительного сектора Казахстана.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нормы, закреплённые в Законе «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», в целом соответствуют подходам Европейского союза, изложенным в директиве 2010/31/ЕС (Закон РК №541-IV; Directive 2010/31/EC). Однако, несмотря на формальную согласованность, отечественная система пока не готова к полноценному выполнению требований законодательства.

Обобщённый вывод по действующим нормативным документам в области энергосбережения и повышения энергоэффективности заключается в необходимости их дальнейшего совершенствования и эффективного использования в практической деятельности. Проведенный анализ позволяет выявить основные проблемы нормативного регулирования энергосбережения и повышения энергоэффективности в сравнении с международной практикой (Таблица 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ проблем нормативного регулирования энергосбережения и энергоэффективности зданий в Республике Казахстан и международной практике

Проблема (Казахстан)	Последствия для строительного сектора	Международная практика (ЕС / Германия)
Формальный характер требований по энергоэффективности зданий	Низкое фактическое снижение энергопотребления, расхождение проектных и эксплуатационных показателей	ЕС: обязательные минимальные стандарты энергоэффективности зданий и контроль по жизненному циклу (EPBD). Германия: контроль соответствия не только проекту, но и инженерным системам здания (GEG).
Устаревшие методики расчёта	Избыточные теплопотери, рост эксплуатационных затрат, низкая конкурентоспособность зданий	ЕС: регулярное обновление директив и норм с учётом новых материалов и цифрового проектирования. Германия: интеграция требований к оболочке и системам отопления.
Энергетическая паспортизация носит формальный характер	Не влияет на рынок недвижимости и поведение собственников	ЕС: энергетический сертификат (EPC) обязателен при продаже и аренде. Германия: увязка класса здания с возможностью модернизации и субсидиями.
Отсутствие экономических стимулов для застройщиков и собственников	Низкая заинтересованность во внедрении нергоэффективных технологий	ЕС: гранты, льготное кредитование, программы Renovation Wave. Германия: субсидирование реновации и перехода на ВИЭ-отопление.
Ориентация на минимальные капитальные затраты, а не на жизненный цикл здания	Рост суммарных затрат владения, низкая энергоэффективность в эксплуатации	ЕС: внедрение подхода оценки по жизненному циклу (LCA/LCC). Германия: требования к системам отопления и энергоснабжения на стадии эксплуатации.
Отсутствие обязательных требований к модернизации существующего фонда	Консервация энергорасточительных зданий	ЕС: поэтапная реновация «наихудших» зданий. Германия: программируемая модернизация с переходными периодами.
Недостаточная координация между строительными и энергетическими органами	Разрыв между проектированием, строительством и эксплуатацией	ЕС: интеграция строительной политики с климатической и энергетической. Германия: территориальное планирование теплоснабжения (heat planning).

Окончание таблицы 1

Проблема (Казахстан)	Последствия для строительного сектора	Международная практика (ЕС / Германия)
Слабая нормативная связь с ВИЭ и системами отопления	Зависимость от ископаемого топлива в зданиях	Германия: требование ≥65 % энергии из ВИЭ для новых систем отопления. ЕС: декарбонизация зданий как часть климатической политики.
Недостаточное развитие рынка энергоэффективных технологий	Ограниченное предложение и высокая стоимость решений	ЕАЭС: техрегламенты по энергоэффективности оборудования (TR EAEU 048/2019), но без комплексного охвата зданий.
Низкая вовлечённость потребителей и собственников зданий	Отсутствие спроса на энергоэффективное жильё	ЕС: информирование через EPC и тарифные сигналы. Германия: финансовые стимулы для домохозяйств.
Примечание – составлено авторами		

В текущей практике проектирования основное внимание уделяется расчётному максимальному энергопотреблению инженерных систем с учётом теплозащиты, при этом системные проблемы остаются:

Ограниченный охват понятий энергоэффективности.

В действующих нормах недостаточно чётко определено понятие «энергоэффективность зданий». Основной акцент делается на теплопотребление, в то время как другие аспекты, такие как потребление электроэнергии на вентиляцию, освещение, насосное и кондиционерное оборудование, зачастую игнорируются.

Формальный подход к сертификации и экспертизе.

Хотя существует требование об экспертизе энергоэффективности проектной документации, фактический контроль соответствия построенного объекта заявленному классу энергоэффективности отсутствует (Постановление Правительства Республики Казахстан от 29 декабря 2012 года №1784 «Об утверждении Правил проведения экспертизы энергосбережения и повышения энергоэффективности»). Это снижает эффективность законодательных мер.

Отсутствие системы постэксплуатационного мониторинга.

После ввода зданий в эксплуатацию не проводится систематическая проверка фактических энергетических характеристик объектов, что не позволяет выявлять несоответствия и отклонения от проектных показателей.

Недостаточная гармонизация с международными стандартами.

Казахстанские нормы частично ориентированы на европейские принципы (в частности, EPBD - Директива Европейского парламента и Совета 2010/31/ЕС об энергосбережении зданий), но отсутствует полная методологическая согласованность. Применяемые методы расчёта и нормирования часто не соответствуют современным требованиям ЕС.

Перевод и заимствование европейских нормативных документов осуществляются без достаточной адаптации к местным климатическим, экономическим и технологическим условиям. В результате создаются требования, которые либо неприменимы, либо требуют чрезмерных затрат при реализации в отечественной практике.

При переносе норм часто допускаются ошибки и упрощения при пересчете или корректировке коэффициентов, особенно в части теплоизоляции, энергоемкости оборудования и характеристик зданий. Это приводит к снижению точности расчетов и, как следствие, к неправильной оценке показателей энергоэффективности.

Часть отечественных нормативно-технических документов имеет устаревшую структуру и оформление, не отвечающие современным требованиям к ясности, логике построения и цифровизации документов. Отсутствует четкое разграничение обязательных и рекомендательных положений, что затрудняет практическое применение норм.

Расчёты базируются на среднемесячных климатических данных и градусо-сутках отопительного периода, без учёта реальных внутренних тепловыделений и специфики энергонагрузок. Это снижает точность оценки энергопотребления зданий.

В большинстве нормативных документов отсутствуют требования по минимизации расхода электрической энергии на системы жизнеобеспечения зданий (освещение, вентиляция, насосы и т.д.).

Недостаточные гибкость и адаптация под современные технологии.

Нормативно-техническая база слабо учитывает инновационные решения в строительстве, использование ВИЭ, «умные» системы управления энергопотреблением и новые материалы с улучшенными теплоизоляционными свойствами.

Недостаточное внимание к энергоэффективной модернизации существующего жилого фонда.

Большинство нормативов ориентированы на новое строительство. При этом остаётся слабая методическая база по реконструкции и повышению энергоэффективности уже существующих зданий.

Сложность доступа к актуальным нормативным документам.

Некоторые нормативно-технические акты недостаточно доступны для широкого круга специалистов, особенно на региональном уровне, что затрудняет их применение.

Недостаточная координация между ведомствами.

Разработка и применение нормативов часто происходят разрозненно, без должного взаимодействия между государственными органами, научными институтами, строительной сферой и энергетическим сектором.

Таким образом, существует необходимость глубокой переработки действующих норм. Европейские стандарты EPBD, лишённые указанных недостатков, являются ориентиром. Вместе с тем не следует слепо копировать зарубежный опыт: адаптация должна учитывать экономическую реальность, климат, уровень развития строительной индустрии и научную базу страны.

Для полноценной интеграции в международную систему норм по энергоэффективности достаточно, по мнению ряда специалистов, гармонизировать около 25–30 % европейских методологических стандартов, адаптируя оставшуюся часть под национальные условия.

Для обеспечения более рационального и эффективного использования энергетических ресурсов, кроме совершенствования нормативно-технической базы, необходимо устранить целый ряд существующих барьеров, таких как:

Отсутствие должной мотивации.

Финансовые ограничения, заниженные тарифы на энергоносители и неочевидность выгод от экономии энергии часто препятствуют заинтересованности в повышении энергоэффективности. В этой связи критически важной задачей становится формирование государственной политики, предусматривающей чёткие механизмы регулирования энергопотребления и стимулирования энергосберегающих инициатив.

Недостаточность информированности.

Недостаточный уровень осведомлённости среди участников строительной отрасли мешает внедрению энергоэффективных решений на этапах проектирования и возведения объектов. Повышение уровня осведомлённости будущих собственников и арендаторов является необходимым шагом для изменения ситуации. Этого можно достичь через

реализацию комплексных информационных кампаний и применение соответствующих инструментов государственной политики.

Вопросы эксплуатации зданий.

Для повышения энергоэффективности важно принимать решения, направленные на улучшение систем эксплуатации объектов недвижимости. Одним из эффективных методов является предоставление потребителям информации об энергетических характеристиках зданий. Внедрение системы сертификации энергоэффективности объектов может сыграть здесь ключевую роль. Однако в случае, если такой механизм не будет обязательным, его эффективность окажется ограниченной. Поэтому сертификация должна сопровождаться надёжными системами контроля, замеров, а также дополнительными стимулами для соблюдения требований энергоэффективности.

Сложности в финансировании проектов.

Финансовые учреждения, в том числе инвестиционные банки, зачастую не обладают достаточным опытом в поддержке проектов по снижению энергопотребления. Кроме того, условия получения финансирования для таких проектов значительно строже, чем для строительства новых объектов. Особенно остро эта проблема проявляется в деятельности кооперативов собственников квартир (КСК), которые, находясь в стеснённом финансовом положении, часто не в состоянии самостоятельно реализовать мероприятия по снижению энергопотребления. Высокие требования к финансовой устойчивости становятся для них серьёзным препятствием при привлечении кредитных ресурсов.

Низкий уровень координации и институциональной поддержки.

Энергоэффективность часто не рассматривается как важный инструмент решения экономических или экологических задач. Необходимо усиление межведомственной координации, устранение противоречий в законодательной базе, а также повышение внимания со стороны государства к вопросам энергосбережения и рационального энергопотребления.

Отсутствие современных методик расчёта.

До недавнего времени дополнительным сдерживающим фактором являлось отсутствие в Казахстане актуальной методики расчёта энергоэффективности зданий, соответствующей международным стандартам. Подобная методика позволяет установить объективные параметры оценки и повысить прозрачность в вопросах энергоэффективного строительства и эксплуатации объектов.

Во многих европейских странах действует обязательная система энергетической сертификации жилых и общественных зданий (ASHRAE 90.1; Directive 2002/91/EC). Эта процедура была предусмотрена Директивой 2002/91/EC Европейского парламента и Совета (EPBD). С 2008 года наличие энергетического сертификата стало обязательным условием при продаже или сдаче в аренду объектов недвижимости — как для собственников, так и для арендодателей. Начиная с 2013 года, отсутствие такого сертификата у владельцев зданий влечёт за собой административные штрафы.

В Казахстане не существует стандартизированной системы сбора данных по энергопотреблению в отдельных зданиях (Белый А., 2024; Sharipov R. et al., 2020). Введение системы энергетической сертификации в Казахстане может стать эффективным инструментом оценки соответствия зданий установленным требованиям энергоэффективности, закреплённым в нормативно-правовых актах.

С целью решения указанной проблемы в АО «Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры» совместно со специалистами РУП «Стройтехнорм» Республики Беларусь в период 2018-2020 гг. был реализован научно-исследовательский проект № AR05133504, финансировавшийся Министерством образования и науки Казахстана. Проект был направлен на изучение европейского опыта

и разработку методики оценки энергоэффективности зданий и сооружений, соответствующей стандартам ЕС. В частности, разрабатывалась система, учитывающая потребление энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, кондиционирование и электроснабжение. В итоге методика была разработана, однако по независящим от разработчиков причинам указанная методика до настоящего времени не применяется на практике.

Обобщённый вывод по действующим нормативным документам в области энергосбережения и повышения энергоэффективности заключается в необходимости их дальнейшей доработки и модернизации. Существующие положения требуют актуализации с учётом современных технологических решений и международной практики. В этой связи необходима реализация следующих мер:

1. Поэтапное усиление требований к энергетическим характеристикам зданий.

Постепенно необходимо ужесточать нормативные показатели энергоэффективности как для новых объектов, так и для зданий, проходящих реконструкцию, капитальный ремонт или тепловую модернизацию.

2. Внедрение системы регулярных энергетических обследований.

Следует организовать обязательное проведение энергоаудитов для эксплуатируемых зданий с установленной периодичностью. Это позволит осуществлять энергосертификацию, проверять соответствие ранее присвоенных классов и при необходимости корректировать их.

3. Последовательное внедрение системы сертификации зданий.

Начать следует с добровольной сертификации с последующим переходом к обязательной. Энергетическая сертификация должна представлять собой формализованную процедуру, включающую расчёт фактического энергопотребления, оценку уровня энергоэффективности и присвоение соответствующего класса с выдачей официального сертификата.

4. Периодический пересмотр стандартов теплозащиты зданий.

С целью обеспечения устойчивой экономии энергии в жилищном секторе необходимо регулярно обновлять нормы теплозащиты. Это позволит учитывать достижения в области строительных технологий и повышать эффективность ограждающих конструкций.

5. Гармонизация национального подхода с европейской практикой.

Следует ориентироваться на европейскую Директиву 2010/31/ЕС как на эталон сбалансированной и эффективной системы регулирования. При этом важно не копировать её дословно, а адаптировать с учётом отечественного опыта нормотворчества, уровня развития строительной отрасли, экономических условий и климатических особенностей Казахстана.

6. Совершенствование системы определения классов энергоэффективности.

Необходимо разработать единую национальную методику присвоения классов энергоэффективности зданиям и сооружениям. Методика должна учитывать все основные источники энергопотребления: отопление, вентиляцию, кондиционирование, электроснабжение, горячее водоснабжение, а также использование возобновляемых источников энергии.

Внедрение перечисленных мер обеспечит более точную оценку фактического энергопотребления зданий, повысит качество проектных решений, а также создаст условия для устойчивого снижения энергозатрат на стадии эксплуатации. Всё это станет основой для перехода к действительно эффективной системе энергосбережения в строительной сфере страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует подчеркнуть, что комплексное и системное решение проблем нормативного регулирования и практического внедрения энергосберегающих технологий в строительстве способно обеспечить существенное повышение энергоэффективности зданий и сооружений на всех этапах их жизненного цикла — от проектирования и строительства до эксплуатации и модернизации (UNECE, 2020; Zhigulina & Yurchenko, 2024). Эффективная реализация мер энергосбережения создаёт условия для рационального использования энергетических ресурсов, снижения совокупных затрат владения объектами недвижимости, повышения экономической устойчивости страны и сокращения негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевыми инструментами достижения указанных целей выступают государственная поддержка и стимулирование внедрения энергоэффективных решений, развитие финансовых механизмов (льготы, кредиты, субсидии), повышение информированности участников рынка, внедрение цифровых инструментов мониторинга энергопотребления, а также гармонизация национальной нормативной базы с международной практикой с учётом климатических, экономических и технологических особенностей Казахстана.

Современное состояние строительных нормативов в Республике Казахстан свидетельствует о переходном этапе развития системы регулирования энергоэффективности, в рамках которого уже наблюдаются отдельные положительные изменения (Sharipov R. et al., 2021; Белый А., 2024). Вместе с тем действующая нормативно-правовая база сохраняет фрагментарный и во многом декларативный характер, что ограничивает её практическую результативность. Международный опыт Европейского союза и Германии демонстрирует, что высокая эффективность регулирования достигается не количеством требований, а их интеграцией в экономические, финансовые и эксплуатационные механизмы, а также ориентацией на фактическое энергопотребление в процессе эксплуатации зданий.

В этой связи масштабирование предложенной методики оценки и регулирования энергоэффективности на национальном уровне целесообразно реализовывать поэтапно, в формате «дорожной карты» для регуляторных органов.

На первом этапе целесообразно обеспечить методологическую унификацию, включающую пересмотр и актуализацию расчетных методик энергопотребления с ориентацией на жизненный цикл здания, утверждение единых методик энергоаудита зданий и инженерных систем, а также внедрение обязательного учёта фактического энергопотребления в рамках государственного контроля и технического надзора.

На втором этапе рекомендуется нормативно закрепить переход от формального соответствия проектной документации к установлению минимальных эксплуатационных показателей энергоэффективности, охватывающих не только ограждающие конструкции, но и системы отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и управления энергопотреблением. В рамках данного этапа целесообразно установить обязательность энергетического сертификата при вводе объекта в эксплуатацию, а также при его продаже или аренде, с регламентацией процедур верификации и периодического контроля достоверности данных.

На третьем этапе следует обеспечить экономическое сопровождение нормативных требований, включая внедрение льготного финансирования реновации существующего фонда на основе подтверждённого энергетического эффекта, создание механизмов участия частных финансовых институтов через государственные гарантии и программы поддержки, а также включение энергоэффективности в качестве обязательного критерия при государственном заказе на строительство и реконструкцию объектов.

На четвертом этапе необходимо усилить институциональные и цифровые инструменты реализации политики энергосбережения, включая развитие межведомственной координации, формирование единого цифрового портала нормативных документов и методик с открытым доступом, внедрение региональных климатических коэффициентов и привязку нормативов к реальным условиям эксплуатации зданий. Параллельно требуются системная подготовка и повышение квалификации специалистов строительной отрасли на базе вузов и отраслевых центров.

Реализация данной дорожной карты позволит обеспечить переход от декларативной модели регулирования энергоэффективности к функционально ориентированной системе, направленной на реальное снижение энергопотребления в эксплуатации зданий. В долгосрочной перспективе это создаст предпосылки для формирования целостной системы управления энергопотреблением в строительном секторе Казахстана, стимулирующей внедрение инновационных технологий, использование возобновляемых источников энергии и цифровых решений, а также обеспечит положительное экономическое, экологическое и социальное развитие страны.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Данное исследование не получало внешнего финансирования.

БЛАГОДАРНОСТИ: Авторы выражают благодарность редактору и анонимным рецензентам за их содержательные замечания и полезные рекомендации, которые способствовали улучшению данной рукописи.

КОНФЛИКТЫ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА При подготовке рукописи использовались инструменты искусственного интеллекта исключительно в целях языкового редактирования и улучшения стилистики текста; содержание, анализ и выводы полностью принадлежат авторам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ASHRAE. (2019). ASHRAE 90.1 — Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Barbarov, S. (2023). Energy-efficient neighborhoods: New urban planning approaches // Urban Construction & Architecture Journal.

Beliy, A. (2024). Problems of enhancing energy efficiency of residential apartment buildings in Kazakhstan // CAJSCR.

Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. (2002). Official Journal of the European Communities.

Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. (2010).

Himeur, Y., Ghanem, K., et al. (2020). Artificial Intelligence based anomaly detection of energy consumption in buildings // arXiv preprint. https://arxiv.org/abs/2010.04560

Himeur, Y., Ghanem, K., et al. (2021). A survey of recommender systems for energy efficiency in buildings // arXiv preprint. https://arxiv.org/abs/2102.07654

Sharipov, R., Kudrevich, O., Yerzhanov, S., Shavdinova, M., & Tyulyubayeva, D. (2020). Further improvement methods for determining energy efficiency of buildings and structures in the Republic of Kazakhstan // Journal of Applied Engineering Science, 18(4). https://doi.org/10.5937/jaes0-27202

Sharipov, R., Tyulyubayeva, D., Shavdinova, M., Kudrevich, O., & Yerzhanov, S. (2021). Practice and future of energy-efficient construction in the Republic of Kazakhstan // Journal of Applied Engineering Science, 19(1). https://doi.org/10.5937/jaes0-27404

Strielkowski, W., Gorina, L., et al. (2023). Energy-saving technologies and energy efficiency in the post-pandemic world // Energy Reports.

UNECE. (2020). Energy Efficiency in Buildings: Guidelines and Best Practices for Central Asian Countries. United Nations Economic Commission for Europe.

Zhigulina, A. Yu., & Yurchenko, Y. I. (2024). Energy-efficient buildings: Key principles design and construction practice // Eco-Vector Journal.

Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности», № 541-IV ЗРК от 13.01.2012 г. // Zakon Respubliki Kazakhstan. (2012). Ob energosberezhenii i povyshenii energoeffektivnosti [On energy saving and increasing energy efficiency]. (In Russ.).

Концепция развития сферы энергосбережения и повышения энергоэффективности Республики Казахстан, утверждённая постановлением Правительства Республики Казахстан от 20.03.2023 г. № 264 // Pravitel'stvo Respubliki Kazakhstan. (2023). Kontseptsiya razvitiya sfery energosberezheniya i povysheniya energoeffektivnosti Respubliki Kazakhstan [Concept for the development of energy saving and energy efficiency in the Republic of Kazakhstan]. (In Russ.).

Постановление Правительства Республики Казахстан от 29 декабря 2012 года № 1784 «Об утверждении Правил проведения экспертизы энергосбережения и повышения энергоэффективности» // Pravitel'stvo Respubliki Kazakhstan. (2012). Ob utverzhdenii pravil provedeniya ekspertizy energosberezheniya i povysheniya energoeffektivnosti [On approval of the rules for conducting expertise in energy saving and energy efficiency]. (In Russ.).

Кудревич, О.О. Сертификация энергетической эффективности зданий. – Минск, 2014. – 59 с. // Kudrevich, O. O. (2014). Sertifikatsiya energeticheskoi effektivnosti zdanii [Certification of energy efficiency of buildings]. Minsk. (In Russ.).

Тарнагурский, А.В. Обоснование, рекомендации и проекты регламентирующих актов для поэтапного внедрения системы сертификации энергоэффективности зданий. – Минск, 2016. – 34 с. // Tarnagurskii, A. V. (2016). Obosnovanie, rekomendatsii i proekty reglamentiruyushchikh aktov dlya poetapnogo vnedreniya sistemy sertifikatsii energoeffektivnosti zdanii [Justification, recommendations and draft regulatory acts for the gradual implementation of the building energy efficiency certification system]. Minsk. (In Russ.).

Шарипов, Р.Ж. О разработке методики определения энергоэффективности зданий и сооружений. Вестник АО «КазНИИСА», № 4, Алматы, 2020. – С. 77–89. // Sharipov, R. Zh. (2020). O razrabotke metodiki opredeleniya energoeffektivnosti zdanii i sooruzhenii [On the development of a methodology for determining the energy efficiency of buildings and structures]. Vestnik AO «KazNIISA», 4, 77–89. https://drive.google.com/file/d/1C0-5YiAzh-sNef5AcWEfmH4LlU_XLkKF/view (In Russ.).

Шарипов, Р., Ержанов, С. Проблемы энергоэффективного строительства в Республике Казахстан и методика определения энергоэффективности зданий и сооружений. Вестник КазГАСА, 2020, № 3(77). – С. 180–191. ISSN 1680-080X. // Sharipov, R., & Erzhanov, S. (2020). Problemy energoeffektivnogo stroitel'stva v Respublike Kazakhstan i metodika opredeleniya energoeffektivnosti zdanii i sooruzhenii [Problems of energy-efficient construction in the Republic of Kazakhstan and methodology for determining the energy efficiency of buildings and structures]. Vestnik KazGASA, 3(77), 180–191. https://vestnik.kazgasa.kz/kz/site/archive-number?id=26 (In Russ.).

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Шәріпов Рашид Жапарұлы – техника ғылымдарының кандидаты, Қазақ-Неміс университеті, Алматы қ., Қазақстан
Шарипов Рашид Жапарович – кандидат технических наук, Казахстанско-Немецкий университет в г. Алматы, Казахстан
Sharipov Rashid Japarovich – candidate of technical sciences, Kazakh-German University, Almaty, Kazakhstan.
e-mail: sharipov@dku.kz
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0685-8388



Алимова Куляш Кабпасовна – техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан.
Алимова Куляш Кабпасовна – кандидат технических наук, Satbayev University, г.Алматы, Казахстан.
Alimova Kulyash Kabpasovna – candidate of technical sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.
e-mail: k.alimova@satbayev.university
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8267-142X



Шәріп Зарина Рашидқызы – «Жасыл қаржы» білім беру бағдарламасының 2-курс магистранты, Қазақстан-Неміс университеті (Алматы қ., Қазақстан), NwComp Solar GmbH (Германия) компаниясының жобалық маманы.
Шәріп Зарина Рашидқызы – магистрантка 2-го курса образовательной программы «Зеленые финансы» Казахстанско-Немецкого университета (г. Алматы, Казахстан), проектный специалист компании NwComp Solar GmbH (Германия).
Sharip Zarina Rashidqyzy – 2nd-year Master's student in the "Green Finance" programme at the Kazakh-German University (Almaty, Kazakhstan) and a Project Specialist at NwComp Solar GmbH (Germany).
e-mail: z.sharipova08@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7004-893X



Бердали Мейірман Нуржанұлы – техника ғылымдарының магистрі, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан.
Бердали Мейірман Нуржанұлы – магистр технических наук, Satbayev University, г. Алматы, Казахстан.
Berdali Meiirman Nurzhanuli – Master's of Technical Sciences, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.
e-mail: m.berdali@satbayev.university
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0334-8072

М А З М Ұ Н Ы

Бақтыбаев А.А., Имамбаева Р.С. Көпфакторлы талдау және Астана қаласының климаттық жағдайында қасбеттерді қайта құрылымдауды оңтайландыру 5

Беккалиев Н.М., Сабитов Е.Е. Автоклавталмаған газобетонға сульфонат натрий қосудың әсері 17

Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В. Теміртау қаласы аумағының төрттік шөгінділерінің физикалық қасиеттеріне гранулометриялық құрамның әсерін бағалау 30

Жаканов А.Н., Аруова Л.Б., Корниеженко К., Уркинбаева Ж.И., Тлеубаева А.К. Геополимерлі байланыстырғыштарды өндіру үшін ұшатын күлі мен домна пеші қожының әлеуетін бағалау 42

Остапенко И.И., Гвоздикова Т.А., Шариф Я.Р., Дюсенова Д.Г., Гурская О.Е. Мәдени мұра негізінде Түркістан қаласындағы қоғамдық кеңістіктердің сәулеттік модельдеуі 50

Ракижанова Ж.К., Гольцев А.Г., Чернавин В.Ю., Айтказина А.К. Лазерлік құрылғыларды пайдалана отырып, құрылыс конструкцияларын туралау дәлдігін аналитикалық зерттеулер 64

Сарсембаева Д.Е. 1965-1985 жылдарда Астана қаласының (Ақмола) әлеуметтік инфрақұрылым объектілерінің тарихи дамуы 75

Исмагулов У.Н., Арынов К.К., Саурбаева А.М. Қазақстанның халық кәсіпшілігі орталықтарының сәулеті 84

Оспанова А.Т., Ахметов Д.А., Сартбаев А.А., Ускембаева Б.О., Чуканов Д.Е. Өздігінен тығыздалатын бетон құрамындағы микрокремнеземнің шөгу, беріктік және реологиялық қасиеттеріне әсері 102

Ракижанова Ж.К., Рахимова Г.М., Алдунгарова А.К., Рахимова Ж.Б., Есиркепова А.Б. Құрылыс материалдарын өндіруде металлургиялық өнеркәсіп қалдықтарын пайдалануды талдау 116

Сартаев Д.Т., Байсариева А.М., Сағыбекова А.О., Елубаева Е.Е., Джумадилова С.Ж. Көп компонентті модификацияланған байланыстырушы заттардың гидраттануы және құрылымының қалыптасуы: механизмдері мен қасиеттері 128

Шарипов Р.Ж., Алимова К.К., Шәріп З.Р., Бердали М.Н. Қазақстан Республикасының құрылыс секторының тұрақты дамуының нормативтік негізі мен қиындықтары 141

СОДЕРЖАНИЕ

Бақтыбаев А.А., Имамбаева Р.С. Многофакторный анализ и оптимизация реконструкции фасадов в климатических условиях города Астана 5

Беккалиев Н.М., Сабитов Е.Е. Влияние добавления сульфонат натрия на неавтоклавный газобетон 17

Вдовкина Д.И., Пономарева М.В., Пономарева Е.В. Оценка влияния гранулометрического состава на физические свойства четвертичных отложений территории г. Темиртау 30

Жаканов А.Н., Аруова Л.Б., Корниеженко К., Уркинбаева Ж.И., Тлеубаева А.К. Оценка потенциала золы-уноса и доменного шлака для получения геополимерных вяжущих 42

Остапенко И.И., Гвоздикова Т.А., Шариф Я.Р., Дюсенова Д.Г., Гурская О.Е. Архитектурное моделирование общественных пространств в городе Туркестане на основе культурного наследия 50

Ракижанова Ж.К., Гольцев А.Г., Чернавин В.Ю., Айтказина А.К. Аналитические исследования точности выверки строительных конструкций при использовании лазерных приборов 64

Сарсембаева Д.Е. Историческое развитие объектов социальной инфраструктуры города Астаны (Акмолы) в 1965-1985 гг. 75

Исмагулов У.Н., Арынов К.К., Саурбаева А.М. Архитектура центров народных промыслов Казахстана 84

Оспанова А.Т., Ахметов Д.А., Сартбаев А.А., Ускембаева Б.О., Чуканов Д.Е. Влияние микрокремнезема в составе самоуплотняющегося бетона на усадку, прочность и реологические свойства 102

Ракижанова Ж.К., Рахимова Г.М., Алдунгарова А.К., Рахимова Ж.Б., Есиркепова А.Б. Анализ использования отходов металлургической промышленности в производстве строительных материалов 116

Сартаев Д.Т., Байсариева А.М., Сагыбекова А.О., Елубаева Е.Е., Джумадилова С.Ж. Гидратация и структурообразование многокомпонентных модифицированных связующих: механизмы и свойства 128

Шарипов Р.Ж., Алимова К.К., Шәріп З.Р., Бердали М.Н. Нормативное регулирование и вызовы устойчивого развития строительного сектора Республики Казахстан 141

CONTENT

Baktybayev A.A., Imambayeva R.S. Multifactor analysis and optimization of facade reconstruction in the climatic conditions of Astana 5

Bekkaliev N.M., Sabitov E.E. The effect of sodium sulfonate addition on non-autoclaved aerated concrete 17

Vdovkina D.I., Ponomareva M.V., Ponomareva E.V. Influence of particle size distribution on the physical properties of quaternary deposits: a case study from Temirtau 30

Zhakanov A.N., Aruova L.B., Korniejenko K., Urkinbaeva Zh., Tleubayeva A. Assessment of the potential of fly ash and blast furnace slag for the production of geopolymer binders 42

Ostapenko I.I., Gvizdikova T.A., Sharif Y.R., Dyussenova D.G., Gurskaya O.E. Architectural modeling of public spaces in the city of Turkestan based on cultural heritage 50

Rakizhanova Zh., Goltsev A., Chernavin V., Aitkazina A. Analytical studies of the accuracy of alignment of building structures using laser devices 64

Sarsembayeva D.Ye. Historical development of social infrastructure facilities of the city of Astana (Akmola) in 1965-1985 75

Ismagulov U.N., Arynov K.K., Saurbayeva A.M. Architecture of the centers of folk crafts of Kazakhstan 84

Ospanova A.T., Akhmetov D.A., Sartbayev A.A., Uskembayeva B.O., Chukanov D.E. Effect of microsilica in self compacting concrete on shrinkage, strength, and rheological properties 102

Rakizhanova Zh., Rakhimova G.M., Aldungarova A.K., Rakhimova Zh.B., Yessirkepova A.B. Analysis of the use of metallurgical industry waste in the production of building materials 116

Sartayev D.T., Baisarieva A.M., Sagybekova A.O., Yelubayeva Y.Y., Jumadilova S. Hydration and structure formation of multicomponent modified binders: mechanisms and properties 128

Sharipov R.J., Alimova K.K., Sharip Z.R., Berdali M.N. Regulatory framework and challenges of sustainable development of the construction sector of the Republic of Kazakhstan 141

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 куәлігі 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. Mamyrazdykova
Copy editors O. Nikolaenko, S. Mamyrazdykova
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. Mamyrazdykova

Басуға 31 наурыз 2026 ж. қол қойылды.
Форматы 84×108/16. Офсет қағазы.
Көлемі: шартты баспа табағы 16,59, есептік баспа табағы 16,65 .
Баспа нұсқасы. Таралымы 30 дана. № 53-2026 тапсырыс.
Бағасы келісім бойынша.

Подписано в печать 31 марта 2026 г.
Формат 84×108/16. Бумага офсетная.
Объем: усл. печ. л. 16,59 , уч.-изд. л. 16,65.
Печатная версия. Тираж 30 экз. Заказ № 53-2026.
Цена договорная.

Signed to print on March 31, 2026.
Format 84´108/16. Offset paper.
Volume: conventional printing plate 16.59, estimated printing plate 16.65.
Printed version. Circulation 30 copies. Order No. 53-2026.
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.