

# ENGINEER



international scientific journal

**SPECIAL ISSUE**

**E-ISSN**

3030-3893

**ISSN**

3060-5172



**SLIB.UZ**  
Scientific library of Uzbekistan



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state  
transport university



**ENGINEER**

**A bridge between science and innovation**

**E-ISSN: 3030-3893**

**ISSN: 3060-5172**

**SPECIAL ISSUE**

**24-april, 2025**



**[engineer.tstu.uz](http://engineer.tstu.uz)**

**MUHAMMADAMIN KABULOVICH TOHIROVNING TAVALLUDINING  
80 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN  
“SAMARALI QURILISH MATERIALLARI, KONSTRUKSIYALARI VA  
TEXNOLOGIYALARI”  
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI  
ILMIY ISHLARI TO'PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining akademigi, O'zbekiston Respublikasida xizmat ko'rsatgan yoshlar murabbiysi, texnika fanlari doktori, professor **Muhammadamin Kabulovich Tohirovning tavalludining 80 yilligiga bag'ishlangan “Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to'plami chop etildi.

Muhammadamin Kabulovich kompozitsion qurilish materiallarining polistrukturaviy nazariyasini rivojlantirishga ulkan hissa qo'shgan olimdir. 1995-yilda Muhammadamin Kabulovich Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining (RAASN) xorijiy a'zosi etib saylangan, bu esa ularning qurilish materialshunosligi sohasiga qo'shgan ilmiy hissasining xalqaro miqyosdagi e'tirofi bo'ldi. Ular o'z ilmiy faoliyati davomida 6 ta monografiya, 200 dan ortiq ilmiy maqola va 25 ta ixtiroga mualliflik guvohnomasi yaratganlar.

Ushbu konferensiyaning asosiy maqsadi – qurilish materialshunosligi, bino va inshootlarni loyihalash hamda qurilish sohasidagi zamonaviy ilmiy tadqiqotlar natijalarini muhokama qilish, shuningdek, muhandislik ta'limini takomillashtirish yo'llarini aniqlashdir.

Konferensiyada O'zbekiston Respublikasi hamda xorijiy mamlakatlarning oliy o'quv yurtlari va ilmiy-tadqiqot institutlari olimlari, shuningdek, muhim ilmiy tadqiqot natijalariga ega bo'lgan ishlab chiqarish vakillari o'z ilmiy ishlari bilan ishtirok etdilar.

**“Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

1. **Resurs va quvvatni tejaydigan qurilish materiallari va texnologiyalari** – zamonaviy ekologik va iqtisodiy talablarni qondirishga qaratilgan innovatsion yechimlar.
2. **Bino va inshootlarning qurilish konstruksiyalari, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari - muhandislik** va texnologik yechimlarni takomillashtirish yo'nalishlari.
3. **Arxitektura va shaharsozlik** – estetik va funksional jihatlarni uyg'unlashtirgan zamonaviy loyihalar yaratish.
4. **Zamonaviy muhandislik ta'limi tizimini takomillashtirish** – kelajak mutaxassislarini yuqori malakali darajada tayyorlash uchun ta'lim jarayonini modernizatsiya qilish.

Mazkur konferensiya ilmiy hamjamiyatning turli vakillarini bir joyga jamlab, qurilish materialshunosligi sohasidagi zamonaviy muammolar va istiqbollarni muhokama qilish uchun qulay platforma vazifasini bajardi.

**MUHAMMADAMIN KABULOVICH TOHIROVNING TAVALLUDINING  
80 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN "SAMARALI QURILISH MATERIALLARI,  
KONSTRUKSIYALARI VA TEXNOLOGIYALARI" MAVZUSIDAGI  
XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYA  
TASHKILIIY QO'MITASI**

Adilxodjayev Anvar Ishanovich	Universitetdagi istiqbolli va strategik vazifalarni amalga oshirish masalalari bo'yicha rektor maslahatchisi;
Shaumarov Said Sanatovich	Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektor;
Muxammadiyev Ne'matjon Raxmatovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası mudiri;
Babayev Asqar Ruzibadalovich	Qurilish muhandisligi fakulteti dekani;
Shipacheva Yelena Vladimirovna	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası professori, t.f.d. professor;
Maxamataliyev Irkin Muminovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası professori, DSc, professor;
Pirmatov Raxmatilla Xamidullayevich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası professori, t.f.n. professor;
Soy Vladimir Mixaylovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası professori, t.f.d. professor;
Narov Rustam Alixanovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası professori, t.f.n. professor;
Shoumarov Nigmat Baxramovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası professori, t.f.n. professor;
Turgunbayev Urinbek Jamalovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsenti, t.f.n. dotsent;
Bocharova Larisa Vasilevna	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsenti, t.f.n. dotsent;
Karimova Feruza Fuzailovna	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsenti, t.f.n. dotsent;
Kodirov Ilxom Abdullayevich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsenti, PhD, dotsent;
Sharipova Dilafruz Taufukovna	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsenti, PhD, dotsent;
Kandaxarov Sanjar Ishratovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsenti, PhD, dotsent;
Abdullayev Ulug'bek Xakimovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsent v.b., PhD;
Raximova Nozima Baxtiyorovna	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsent v.b., PhD;
Abdullayeva Djamilya Fazilidinovna	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsent v.b., PhD;
Kudratov Bekzod Sherzodovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası dotsent v.b., PhD;
Kaxarov Erkin Vasidovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası katta o'qituvchisi;
Xudoyorov Azamat Abdiraimovich	Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrası assistenti.



## SO‘Z BOSHI



**MUHAMMADAMIN KABULOVICH  
TOHIROV (1945-2011 yy.)**

Aprel oyida qurilish materiallari sohasidagi mashhur olim, texnika fanlari doktori, professor, Rossiya arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining xorijiy aʼzosi, Rossiya Federatsiyasining xizmat koʻrsatgan fan arbobi, Oʻzbekiston Respublikasining xizmat koʻrsatgan yoshlar murabbiysi, faxriy temiryoʻlchi Muhammadamin Kabulovich Tohirovning vafot etganiga 14 yil toʻladi.

Muhammadamin Kabulovich Tohirov 1945-yil 14-martda Toshkent viloyatining Mirzachoʻl shahrida shifokor oilasida tugʻilgan. Onasi Sanobar Samukovna va otasi Kabul Nazarovich olijanob, samimiy, mehnatsevar, xayrixoh va mehribon insonlar edi. U 1962-yilda Toshkent shahridagi 107-oʻrta maktabni tugatib, 1967-yilda Toshkent politexnika institutining qurilish fakultetini sanoat va fuqarolik qurilishi muhandis-quruvchisi mutaxassisligi boʻyicha bitirdi. Institutni tugatgach, yosh mutaxassis M.K.Tohirov 1967-yildan 1970-yil iyulgacha Toshkent shahridagi 5-sonli qurilish boshqarmasida ish boshqaruvchisi va muhandisi lavozimlarida ishladi. Biroq kitoblarga boʻlgan muhabbati va bilimga chanqoqligi uni yanada taʼlim olishga undadi. Bu borada Oʻzbekiston Respublikasida xizmat koʻrsatgan fan arbobi, texnika fanlari doktori, professor Irkin Umaraliyevich Qosimovning tashabbusi hal qiluvchi rol oʻynadi. Uning taklifi bilan M.K.Tohirov 1969-yilda Toshkent politexnika institutining sirtqi aspiranturasiga oʻqishga kirdi va 1975-yilda “Yer osti inshootlarini minerallashtirish suvlar taʼsiridan himoya qilish uchun mahalliy

xom ashyodan tayyorlangan polimerbitum kompozitsiyalarini tadqiq qilish: (Toshkent metropoliteni qurilishi misolida)” mavzusida 05.23.05 “Qurilish materiallari va buyumlari” ixtisosligi boʻyicha nomzodlik dissertatsiyasini muvaffaqiyatli himoya qildi.

1970-yildan uning Toshkent temir yoʻl muhandislari institutidagi (ToshTYMI) mehnat faoliyati boshlandi.

ToshTYMIda prof. Tohirov M.K. kichik ilmiy xodimlikdan kafedra mudirigacha boʻlgan sharaflı mehnat yoʻlini bosib oʻtdi. 1986-yildan boshlab 23 yil davomida u “Sanoat va fuqarolik qurilishi” kafedrasiga rahbarlik qildi, keyinchalik bu kafedra “Bino va sanoat inshootlari qurilishi” deb qayta nomlandi.

1989-yilda Tohirov M.K. Moskva davlat temir yoʻl aloqalari universitetida “Atseton-formaldegid oligomerlari qoʻllanilgan betonlar” mavzusida doktorlik dissertatsiyasini muvaffaqiyatli himoya qildi va 1990-yilda unga texnika fanlari doktori ilmiy darajasi hamda professor ilmiy unvoni berildi.

M.K.Tohirovning olim va ilm tashkilotchisi sifatida shakllanishiga uning ustozı, taniqli materialshunos olim, Rossiya arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining haqiqiy aʼzosi, Rossiyaning xizmat koʻrsatgan quruvchisi Vasilıy Ilich Solomatovning doimiy eʼtibori va gʻamxoʻrligi katta ijobiy taʼsir koʻrsatdi. Bu koʻp jihatdan M.K.Tohirovning keyingi ijodiy yoʻlini belgilab berdi.

M.K.Tohirovning ilmiy faoliyatidagi yutuqlari akademik V.I.Solomatovning kompozitsion materiallarning polistrukturaviy nazariyasi tamoyillarini fan rivojlanishining zamonaviy sharoitlarini hisobga olgan holda yanada rivojlantirish bilan bogʻliq. Xususan, ushbu nazariyaning metodologik tamoyillarini rivojlantirishda M.K.Tohirov bogʻlovchi polimerbetonlarning tuzilishi haqidagi gʻoyalardan kelib chiqib, “polimer-toʻldiruvchi” tizimidagi fazalararo oʻzaro taʼsir kislota-asos xususiyatiga ega degan farazni ilgari surdi. U birinchi marta mineral toʻldiruvchilar yuzasining kislota-asos xossalari bahoıash uchun adsorbsiyalangan indikator molekularining elektron spektroskopıya usulidan foydalandi va dispers



moddalar yuzasining faollik mezoni sifatida kislotali markazlar konsentratsiyalari yig'indisining asosiy markazlar konsentratsiyalari yig'indisiga nisbatini ifodalovchi kattalikni taklif etdi. Uning ilmiy farazlari vaqt sinovidan o'tdi, chunki ular ko'p marta eksperimental tasdiqlandi va bu jarayon davom etmoqda.

Professor M.K.Tohirov faol pedagogik faoliyat olib bordi, yosh mutaxassislariga ustozlik qildi, ko'plab davlat ilmiy-tadqiqot loyihalari va xo'jalik shartnomalari asosidagi ilmiy-texnik ishlarning rahbari bo'ldi. Uning tashkilotchilik qobiliyati, shogirdlar va hamfikrlarni o'z atrofiga jipslashtira olishi ko'p jihatdan kafedraning ilmiy-pedagogik salohiyatini nafaqat saqlab qolishga, balki uni yuksaltirishga ham xizmat qildi. Uning rahbarligida kafedra jamoasi O'zbekiston Respublikasi hukumati tomonidan "Oliy ta'lim to'g'risida"gi Qonun va "Kadrlar tayyorlash milliy dasturi" bosqichlarini amalga oshirish bo'yicha qo'yilgan murakkab vazifalarni muvaffaqiyatli hal etishga erishdi.

Professor M.K.Tohirovning bevosita rahbarligida 32 nafar fan nomzodi va 8 nafar fan doktori tayyorlandi.

M.K.Tohirov 5 ta monografiya va 200 dan ortiq ilmiy maqolalar muallifi, 25 ta mualliflik guvohnomasiga ega, 30 dan ortiq to'plam va monografiyalarning mas'ul muharriri bo'lgan.

Professor M.K. Tohirov o'z kasbiy faoliyati bilan bir qatorda katta jamoatchilik ishlarini ham amalga oshirdi. U ToshTYMI da nomzodlik dissertatsiyalarini himoya qilish bo'yicha ixtisoslashgan Kengash a'zosi va kafedra ilmiy seminari raisi sifatida faoliyat yuritdi. Ko'p yillar davomida O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi qoshidagi Texnika fanlari bo'yicha ekspert kengashining a'zosi va rais o'rinbosari bo'ldi.

Professor M.K. Tohirovning qurilish materialshunosligiga qo'shgan ilmiy hissasi e'tirof etilib, 1995-yilda u Rossiya arxitektura

va qurilish fanlari akademiyasining (RAASN) xorijiy a'zosi etib saylandi. "Vatanimiz mustaqilligini mustahkamlash, mamlakatimizning xalqaro miqyosdagi obro'-e'tiborini yuksaltirish, xalqimiz madaniyati va ma'naviyatini yuksaltirishga qo'shgan salmoqli hissasi, ilmiy faoliyati, ilm-fan va ta'lim sohasidagi ko'p yillik halol mehnati bilan erishgan umumxalq e'tirofi va hurmati, ijtimoiy hayotdagi faol ishtiroki uchun" O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2001-yildagi Farmoni bilan prof. M.K. Tohirov "O'zbekistonda xizmat ko'rsatgan yoshlar murabbiysi" degan yuksak davlat unvoniga sazovor bo'ldi.

Professor M.K. Tohirovning ulkan mehnat qobiliyati, g'ayrati, Vatanga muhabbati, o'z ishiga sadoqati va fidoyiligi, o'ziga va xodimlariga nisbatan o'ta talabchanligi unga nafaqat jamoasi, balki butun respublika ilmiy jamoatchiligi orasida munosib hurmat va obro' keltirdi.

Muhammadamin Kabulovich ilm-fanda u bilan birga bo'lishni istagan ko'pchilikka ochiq ko'ngil, katta qalb egasi edi. U atrofida hamfikrlar to'planadigan aqliy markaz edi.

M.K. Tohirovning ilmiy faoliyati barchamiz uchun fan yo'lida beminnat xizmat qilish namunasidir. Biz uning ilmiy saxovati, samimiy muloqoti, ko'plab o'qituvchilarning ilmiy taqdirlari shakllanishida insoniy va kasbiy ishtiroki, ziyoliligi va olijanobligini doimo minnatdorchilik bilan qabul qilardik.

Muhammadamin Kabulovich Tohirov bilan tanishish va birga ishlash baxtiga muyassar bo'lgan har bir kishining qalbida uning xotirasi abadiy saqlanib qoladi. Uning ishi shogirdlari va universitetning barcha xodimlari mehnatida davom etadi.

### **"BINO VA SANOAT INSHOOTLARI QURILISHI" KAFEDRASI JAMOASI**



# Study of porous structure of concrete on the basis of polyfunctional additive and low-active mineral filler

A. Adylkhodjayev<sup>1</sup><sup>a</sup>, I. Kadyrov<sup>1</sup><sup>b</sup>, O. Tukhtasinov<sup>1</sup><sup>c</sup>, H. Sadykova<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

## Abstract:

This study investigates the porous structure of concrete modified with a multifunctional additive and a low-activity mineral filler. The research, conducted at Tashkent State TransSMWrt University, examines the effects of pore characteristics—size, shape, and volume—on the physical and mechanical properties of concrete, such as strength, permeability, and durability. The study categorizes pores into capillary, sedimentation, shrinkage, and technological types, each influencing concrete performance. A mercury porosimetry method was used to analyze porosity. Experimental concrete samples were prepared with different compositions and tested after 28 days of curing. The results show that using a complex modifier significantly reduces porosity. The composition incorporating both a multifunctional additive and steelmaking waste (composition No. 2) achieved a 30.11% reduction in total porosity compared to the control. The combination was more effective than using either component alone. The findings suggest that optimizing porosity through mineral fillers and chemical additives can enhance concrete durability and performance, making it a promising approach for advanced construction materials.

## Keywords:

Porous structure, Concrete, Physical and mechanical properties, Multifunctional additive, Mineral filler, Mercury porosimetry, Permeability, Durability, Capillary pores, Sedimentation pores, Technological porosity, Modifier, Pore space structure, Steelmaking waste (SMW)

## 1. Introduction

Numerous studies of physical and mechanical properties of concrete, such as strength, deformability, permeability and frost resistance, convincingly demonstrate their dependence on pore space characteristics, including pore size, configuration and volume. The porosity of cement stone and concrete is formed as a result of the complex processes of cement binder hydration, concrete mix placement and subsequent curing of the material [1-3].

Depending on the mechanism of formation, pores in cement stone are classified into several types: capillary, sedimentation, contractile and technological. Each of these types of porosity has a significant impact on key physical and mechanical properties, determining the performance of the material [4].

Capillary pores are formed as a result of the evaporation of excess water required to ensure the workability of the concrete mixture. During the hydration process, some of the water binds to form hydrate phases, while the remaining water evaporates to form a system of capillaries and pores. The sizes of these pores vary from nanometres to micrometres, which has a significant effect on the permeability and water absorption of concrete [4].

The presence of sedimentation pores is due to structural defects resulting from external and internal water shedding. External water separation leads to the formation of a system of capillary pores interconnected and directed along the surface of the coarse aggregate. Internal drainage leads to the accumulation of water in the zones of contact 'binder-filler' with the formation of sedimentation pores, the size of which is usually 50-100 microns [4].

Contraction porosity occurs as a result of cement penetration during the curing process. This phenomenon is

caused by a decrease in the volume of hydrated cement and evaporation of water, which leads to the formation of microcracks [4].

Technological porosity is caused by the process of preparing and placing the concrete mix. This type of porosity includes pores and air bubbles that may be formed when the concrete mixture is not compacted sufficiently. Technological porosity is characterised by a random distribution of pores in size and volume, which makes it difficult to predict its effect on concrete properties. As a rule, an increase in technological porosity leads to a decrease in the strength, durability and water resistance of concrete [4].

Thus, the porous structure of concrete plays a key role in the formation of its physical and mechanical properties. The control and optimisation of porosity parameters, including pore size, configuration and volume, is an important task to ensure the required performance of the material.


As it was shown above, the formation of porous structure in concrete has a negative impact on its physical and mechanical properties and durability. In this regard, the development of effective methods of reducing the porosity of cement composites is an urgent task.

## 2. Materials and methods


Currently, there are many known ways to reduce the porosity of concrete. One of the most accessible and promising approaches is the use of complex modifiers combining mineral filler and chemical additive. Modern chemical admixtures, in addition to water-reducing properties, have other useful functions, such as intensification of setting, air entrainment, etc [5, 6].

Despite the existing achievements in the field of concrete modification, the effect of low-active mineral admixtures such as steelmaking waste (SMW) on concrete porosity

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5729-5178>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3924-0864>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0002-5050-5982>

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0009-0008-4531-6101>



remains insufficiently studied. In this regard, the evaluation of their effect on the structure of the pore space is an important scientific and practical problem.

This paper examines the effect of complex modifier based on polyfunctional chemical admixture and mineral filler on the porosity of cement concrete.

In this paper, mercury porosimetry method was used to determine the porosity of concrete.

### 3. Conclusion

Experimental concrete specimens with different content of components as given in Table 1 were stored under normal conditions for 28 days. After reaching 28 days of age, the specimens were dried to constant weight at 105°C.

Table 1

Investigated compositions of self-compacting concrete mixtures

Compositions	Concrete class	Cone settlement (cm)	Material consumption per 1 m <sup>3</sup> (kg)						
			Cement	Sand Mk=2.5	Crushed stone Fr.10-20	Water	SMW	POLIMIXJBI/POLIMIX	W/C
			kg	kg	kg	l	kg	kg	-
1	B30	П4 (20)	510	541	1100	220	-	-	0,43
2			331	672	1100	140	110	1,4/-	0,41
3			331	672	1100	143	110	-/2.83	0,42

For porosity analysis dried samples were placed in a dilatometer type CD3, where a vacuum was created and pores were filled with mercury. After reaching the set vacuum value, the dilatometer with the sample and mercury was placed in the autoclave compartment of a Thermo Scientific Pascal 240 mercury porosimeter to obtain

porograms.

The obtained porograms were processed using SOLID EVO software, which allowed the calculation of porous structure parameters such as relative pore surface size (mm<sup>3</sup>/g) (Fig. 1) and the size distribution of total porosity (%) (Fig. 2).

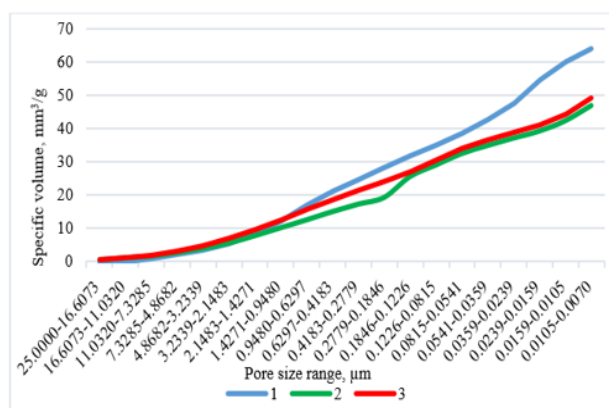


Fig. 1. Specific pore volume of the investigated compositions

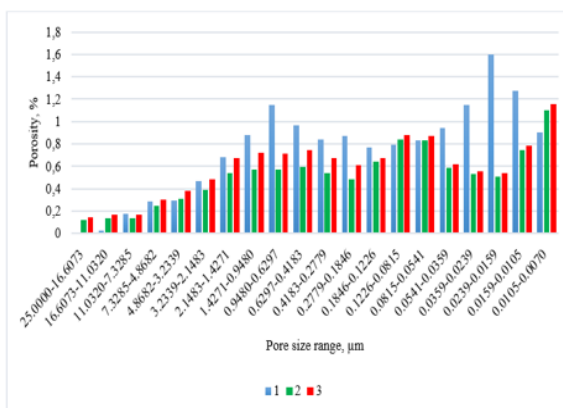


Fig. 2. Pore size distribution for the investigated compositions

### 4. Conclusion

Studies of the porous structure of the compositions showed that the introduction of the complex admixture has an effect on the change in the porosity of concrete. In particular, the total porosity of composition No. 3 decreased by 20.25% compared to the control sample. The most significant decrease in porosity was recorded in composition No. 2, where the porosity of the modified composition based on PFA and SMW decreased by 30.11% compared to the control specimen.

Comparison of the porous structure of different concrete compositions showed that the best reduction of all porosity indices was observed in composition No.2.

Porosity analysis of the investigated composition showed that the use of complex modifier based on polyfunctional additive (PFA) and low-active mineral filler from steelmaking waste leads to a significant reduction in

the total porosity of concrete.

It is found that the total porosity of complex modified concrete is reduced by 30.11% compared to the control composition. Similar trend is also observed for relative pore volume which decreases by 26.68%.

The comparative analysis with POLIMIXJBI and SMW based compositions revealed that the complex modifier shows higher efficiency in reducing porosity. Thus, compared to POLIMIX and SMW based compositions, the reduction in total porosity is 12.3% and 4.9%, respectively.

The results obtained indicate a positive effect of the complex modifier on the formation of the pore space structure of concrete. The reduction of total porosity and relative pore volume is probably due to the complex effect of PFA and SMW.





## References

- [1] Greg S. Adsorption, specific surface area, porosity (trans. From English) / S. Greg, K. Sing. Moscow: Mir, 1970, 407 p.
- [2] Demyanova V.S. Modification of high-strength concrete with complex ultrafine fillers /V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov, E.Yu. Minenko, G.N. Kazina /Concrete and reinforced concrete in the third millennium. Materials of the III International scientific and practical conference. – Rostov-on-Don. – Publishing house of the Russian State. builds. The university. – 2004. – T1. – pp.160-164.
- [3] Komokhov P.G. Modified cement concrete, its structure and properties / P.G. Komokhov, N.N. Shangina // Cement and its application. - 2002. – No. 1. – pp.43-46. Комохов, Н.Н. Шангина // Цемент и его применение. – 2002. – №1. – С.43-46.
- [4] Duval R. Influence of silica fume, on the workability and the compressive strength of high-performance concretes/ R. Duval, E.H. Kadri //Cem. and Concr. Res. – 1998. – V.28. – №4. – p.533-547.
- [5] Martschuk V. Untersuchungen zum Frost-Tausalz-Widerstand von Mochleistungsbetonen / V. Martschuk, T. Stark //Thesis: Wiss. Z.Bauhaus –Univ. Weimar. – 1998. – V.44. - №1-2. – S.92-103.
- [6] Zelic I. Efficiency of silica Fume in Concrete / I. Zelic, D. Rusic, R.Krstulovic // Ibausil: Bauhaus – Univ.Weimar. – 2000. – №2. – p.659-668.

## Information about the author

<b>Adylkhodjayev Anvar Ishanovich</b>	Advisor to the Rector of Tashkent State TranSMWrt University on issues of long-term and strategic development, DSc, professor e-mail: <a href="mailto:anvar_1950@mail.ru">anvar_1950@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0000-0001-5729-5178">https://orcid.org/0000-0001-5729-5178</a>
<b>Kadyrov Ilkhom Abdullaevich</b>	Tashkent State TranSMWrt University, PhD, Associate Professor e-mail: <a href="mailto:ilhom.kadirov.1990@mail.ru">ilhom.kadirov.1990@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-3924-0864">https://orcid.org/0000-0003-3924-0864</a>
<b>Tukhtasinov Oybek Nodir o'gli</b>	Tashkent State TranSMWrt University, student of the BI-5r group e-mail: <a href="mailto:tuxtasinov2003@gmail.com">tuxtasinov2003@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0002-5050-5982">https://orcid.org/0009-0002-5050-5982</a>
<b>Sadykova Hilola Umidovna</b>	Tashkent State TranSMWrt University, student of the BI-9r group e-mail: <a href="mailto:hilolasadikova7@gmail.com">hilolasadikova7@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0008-4531-6101">https://orcid.org/0009-0008-4531-6101</a>



# Properties of fine-grained concrete from raw materials of our Republic

Kh.A. Akramov<sup>1</sup><sup>a</sup>, Sh.T. Rakhimov<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article presents the optimal composition of fine-grained concretes obtained on the basis of local raw materials and industrial waste found on the territory of our republic, as well as X-ray phase and differential thermal analysis of structure formation during their hardening.

**Keywords:** fine-grained concrete, Portland cement, copper smelter slag, fly ash, superplasticizer, differential thermal analysis, X-ray diffraction pattern, structure, composition, industrial waste, minerals, mullite, ettringite

## Respublikamiz xom ashyolaridan tayyorlangan mayda donador beton xossalari

Akramov X.A.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Raximov Sh.T.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Toshkent arxitektura qurilish universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqolada respublikamiz xududida uchraydigan mahalliy xom ashyolar va sanoat chiqindilari asosida olingan mayda donador betonlarning optimal tarkiblari va ularning qotish jarayonida struktura shakllanishining rentgen-fazali va differensial-termik tahlillari keltirilgan.

**Kalit so'zlar:** mayda donador beton, portlandsement, mis eritish shlaki, uchuvchan kul, superplastifikator, differensial termik tahlil, rentgenogramma, struktura, tarkib, sanoat chiqindisi, minerallar, mullit, ettringit

### 1. Kirish

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 23-maydagi PQ-4335-sonli «Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida»gi qarorlarida zamonaviy qurilish materiallari turlarini, shu bilan birga beton va uning turlarini ishlab chiqarish kengaytirishga va sifatini yaxshilashga doir aniq vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan, bino va inshootlar qurilishida mayda donador betonlarni keng ko'lamli qo'llash, mahalliy xom ashyo va sanoat chiqindilaridan foydalanib, belgilangan xossa va ko'rsatkichlarga ega bo'lgan betonlar tarkibini yaratish, qurilish ishlarida mehnat unumdorligini oshiruvchi energiya tejankor texnologiyalarni ishlab chiqish muhim vazifalardan biri hisoblanadi [1].

### 2. Tadqiqot metodikasi

Betonning bir turi bo'lgan mayda donador betonlar yurimizda bunyod etilayotgan turar-joy, sanoat va jamoat binolari qurilishida keng qo'llaniladi.

Shu sababli, sanoat chiqindilari asosida olingan mayda donador betonlarning qotish jarayonida strukturaning shakllanishini rentgen-fazali va differensial-termik tahlil o'tkazish orqali o'rganish tadqiqot ishining maqsadi hisoblanadi.

Sement, shlak-sement+superplastifikator va kul-sement+superplastifikator kompozitsiyalarda strukturaning shakllanish jarayonini aniqlash uchun, havoning nisbiy namligi 95% bo'lgan 20 OS haroratda, 3, 7 va 28 sutka


davomida normal qotish sharoitida saqlangan namunalarda tadqiq etildi [1].

Kul-sementli mayda donador betonlarning qotishi kalsiy oksidi, angidritning gidrotasiyasi va ko'rsatib o'tilgan mahsulotlarning ishqoriy muhitda gidrolizlanuvchi kul shishalari, hamda amorflangan gilli moddalar bilan o'zaro ta'siri asosida tushuntiriladi.

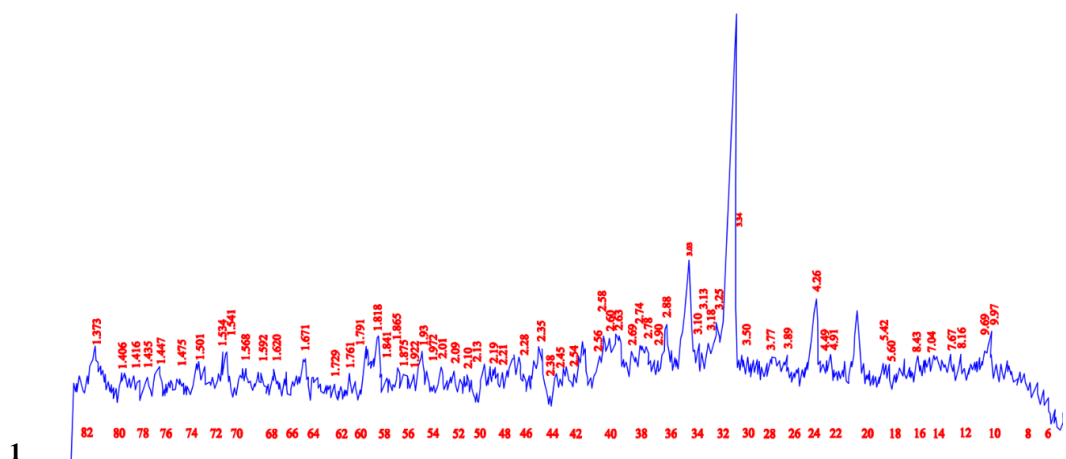
Tarkibida sement-kul-superplastifikator bo'lgan 7 sutkali qotgan mayda donador beton namunalarining rentgenogrammasi (1.1-rasmga qarang) kvarts ( $d=4.26; 3.34; 2.45; 2.28; 2.13; 1.818 \text{ \AA}$ ), kalsit ( $d=3.04; 2.28; 2.10$  va  $1.865 \text{ \AA}$ ), dolomit ( $d=2.90; 2.01 \text{ \AA}$ ), plagioklaz (albit) ( $d=6.35; 3.19 \text{ \AA}$ ), kalsiyli dala shpati ( $d=3.35 \text{ \AA}$ ), portlandit ( $d=4.91; 2.63; 1.926 \text{ \AA}$ ), ettringit ( $d=9.63; 5.80; 3.89$  va  $2.78 \text{ \AA}$ ), xlorit ( $d=7.04 \text{ \AA}$ ), alit ( $d=3.03; 2.78; 2.74; 2.69 \text{ \AA}$ ), mullit ( $d=5.42; 2.88; 2.68; 2.54$  va  $1.841 \text{ \AA}$ ) va  $\text{Sa}_2\text{SiO}_4$  ( $d=2.77; 2.624; 2.195$  va  $1.972 \text{ \AA}$ ) minerallari intensiv chiziqlaridan tashkil topgan.

Tarkibida sement-kul-superplastifikator bo'lgan 28 sutkali qotgan mayda donador beton namunalarining rentgenogrammasi (1.2-rasmga qarang) kvarts ( $d=4.26; 3.34; 2.45; 2.28; 2.13; 1.818 \text{ \AA}$ ), kalsit ( $d=3.04; 2.28; 1.875 \text{ \AA}$ ), dolomit ( $d=2.90; 2.02 \text{ \AA}$ ), plagioklaz (anortit) ( $d=4.04; 3.66; 3.21 \text{ \AA}$ ), kalsiyli dala shpati ( $d=3.78; 3.25 \text{ \AA}$ ), portlandit ( $d=4.91; 2.64; 1.932 \text{ \AA}$ ), ettringit ( $d=9.68; 5.50 \text{ \AA}$ ), xlorit ( $d=13.87; 7.09 \text{ \AA}$ ), gips ( $d=7.56 \text{ \AA}$ ), gidroslyuda ( $d=9.97; 4.93$  va  $4.49 \text{ \AA}$ ) va smektit ( $d=13.87 \text{ \AA}$ ) minerallari intensiv chiziqlaridan tashkil topgan. Qotgan mayda donador beton namunalari gidratasiya jarayonining tugallanmaganligi va sarflangan kul va gidratlanmagan sement klinkerining sementlanuvchi modda tashkil etuvchi bo'lgan qotish mahsulotlarining o'zgarmaydigan komponentlari bilan farqlanadi [2, 3].

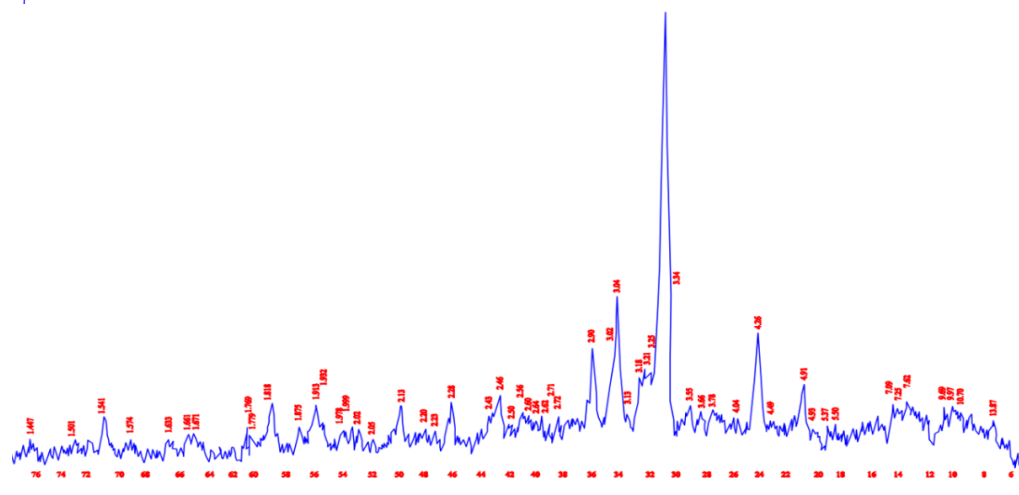
<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0000-5681-524X>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1053-4906>



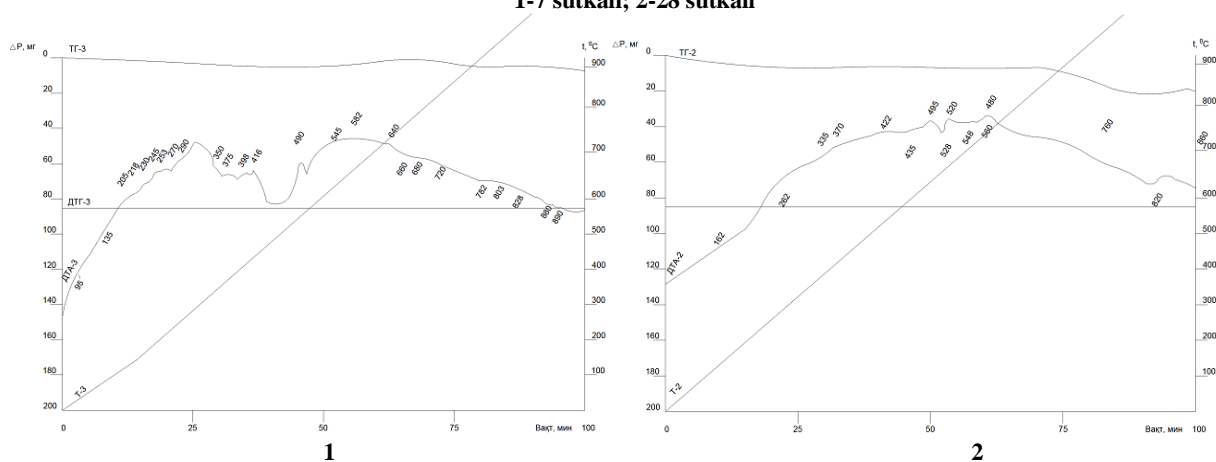


1



2

1-rasm. Tarkibida sement-kul-superplastifikator bo'lgan mayda donador betonlarning rentgenogrammasi: 1-7 sutkali; 2-28 sutkali



1

2

2-rasm. Tarkibida sement-kul-superplastifikator bo'lgan mayda donador betonlarning differensial termik tahlili: 1-7 sutkali; 2-28 sutkali

Mayda donador betonlardan olingan namunalarning differensial-termik-tahlili o'tkazildi. Tarkibida sement-kul-superplastifikator bo'lgan 7 sutkali qotgan mayda donador betondan olingan namunani qizdirish (2.1-rasmga qarang) egri chizig'ida 95, 135, 429, 451, 660, 680, 710, 782, 803, 828, 880, 890 OS da o'n ikkita endotermik effekt va 205, 218, 230, 245, 253, 270, 290, 320, 350, 375, 398, 416, 490, 545, 582, 640 OS da o'n oltita ekzotermik effektlar aniqlandi. 60-900 OS harorat ko'lamida, termogravimetriya egri chizig'ida umumiy massaning yo'qotilishi 14 % ni tashkil etdi.

Tarkibida sement-kul-superplastifikator bo'lgan 28 sutkali qotgan mayda donador betondan olingan namunani qizdirish (2.2-rasmga qarang) egri chizig'ida 162, 262, 455, 508, 548, 560, 820, 860 OS da sakkizta endotermik effekt va 422, 495, 520, 580 OS da to'rtta ekzotermik effektlar aniqlandi. 60-900 OS harorat ko'lamida, termogravimetriya egri chizig'ida umumiy massaning yo'qotilishi 17 % ni tashkil etdi.

### 3. Tadqiqot natijalari va tahlillar

Yuqorida keltirilgan namunalarning qizdirish ta'sirida o'zini tutishi ularning tarkibi, mahsulotlarning olinish usuli, kiritilgan komponentlarning tabiatiga va namunalarning tayyorlanish sharoitiga bog'liq degan xulosaga kelindi.

Vaqt bo'yicha bog'lovchilarni gidratasiyasida asosiy komponentlarning o'zaro ta'siri sababli, mayda donador betonning mustahkamligi ortib borishi aniqlandi.

Portlandsement tarkibiga uchuvchan kulni kiritish natijasida, gidratasiya mahsulotlarining yangi hosilalari soni ortdi, natijada qotgan mayda donador betonning mustahkamligini vaqt bo'yicha ortishi kuzatildi.

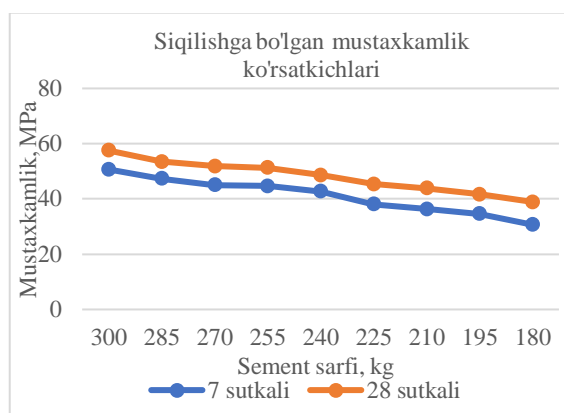
Mayda donador betonlarning normal sharoitda qotish davrida kulning kalsiy oksidi (SaO) gidratasiyasi, portlandsement minerallari gidratasiyasi, kulning

amorflangan gilli moddasining kalsiy gidrooksidi bilan o'zaro ta'siri va sementlovchi tarkibning karbonizatsiyasi sodir bo'ldi. Ishlatilgan quruq holatdagi kul namunasi tarkibida ko'p miqdorda kalsiy oksidi (SaO)ning mavjudligi, qorishmaning qotish davrida to'liq Sa(ON)<sub>2</sub> ga aylana olmaydi, bu esa mayda donador betonning vaqt bo'yicha mustahkamligini oshishi uchun zahira bo'lib xizmat qiladi. Sement toshidan olingan namunalar ustida olib borilgan sinov ishlari, mustahkamlikning 7 sutka va 28 sutka davomida o'zgarishi bu farazni tasdiqladi [4, 5].

Eksperimental tadqiqot ishlari aktivlik koeffitsientini topish uchun 7 sutka va 28 sutka davomida normal qotish sharoitida saqlangan 3x3x3 sm sement toshidan olingan namunalarni siqilishga bo'lgan mustahkamligi aniqlandi. Sinov ishlari natijalari 1-jadvalda va 3-rasmda keltirilgan.

1-jadval

Sinov ishlari natijalari						
Sement, kg	Uchuvchan kul, kg	Suv, l	Suv-sement (kul) nisbati (normal quyuvlik)	Siqilishga bo'lgan mustahkamlik chegarasi, MPa		Aktivlik Koeffitsienti (n)
				7 sutka	28 sutka	
1	2	3	4	5	6	7
300	-	81	0,27	50,67	57,52	0,88
285	15	90	0,30	47,32	53,45	0,87
270	30	95	0,32	45,02	51,85	0,87
255	45	102	0,34	44,73	51,31	0,87
240	60	105	0,35	42,71	48,56	0,88
225	75	112	0,37	38,09	45,37	0,84
210	90	118	0,39	36,34	43,87	0,82
195	105	125	0,42	34,55	41,63	0,83
180	120	130	0,43	30,67	38,92	0,79



3-rasm. Uchuvchan kul miqdorining sement toshi mustahkamligiga ta'siri

1-jadval va 3-rasmda keltirilgan ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, turli qotish sharoitda saqlangan sement toshidan olingan namunalarni siqilishga bo'lgan mustahkamlik tasnifi portlandsementga nisbatan 15-20 % mineral qo'shimcha ishlatganda jiddiy o'zgarmadi. Aktivlik koeffitsienti ham portlandsementga nisbatan 15-20 % mineral qo'shimcha ishlatganda saqlandi, ko'p miqdorda, ya'ni 25-40% gacha miqdorda mineral qo'shimcha bo'lgan uchuvchan kul qo'shilganda esa mustahkamlik tasnifi va aktivlik koeffitsienti kamaydi. Shu sababli keyingi eksperimental tadqiqot ishlari mayda donador betonning optimal tarkibiga 20 % mineral qo'shimcha bo'lgan uchuvchan kul ishlatildi.

### 4. Xulosa

Shunday qilib, kompozit bog'lovchilarning struktura shakllanish jarayoni, «sement minerallari – kvars – kul – suv – superplastifikator» va «sement minerallari – kvars – shlak – suv – superplastifikator» sistemasining qotishida yangi hosilalarning ketma-ket ko'payishi hisobiga, kvars va kul (shlak) zarralarining sement minerallari gidratasiya mahsulotlari bilan turli vaqtda va intensivlik bilan ta'sirlashuvi natijasida sodir bo'ldi.

### Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 23-maydagi PQ-4335-sonli «Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida»gi qarori.
- [2] Raximov Sh.T. Sanoat chiqindilari asosidagi to'lg'azuvchi qorishmalarning optimal tarkibini ishlab chiqish, fizik-texnik xususiyatlari, uzoq muddatga chidamliligi va samaradorligini tadqiq etish. Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajasini olish uchun tayyorlangan avtoreferati. Toshkent. 32-34 betlar, 2019.
- [3] Mirkin L.I. Spravochnik po rentgenostrukturnomu analizu polikristallov. /pod redaksiye Umanskogo A.S./ -M.: Fizmatizdat. S.63, 1991.
- [4] Gaziev U.A. "Otxodi promishlennosti v proizvodstve stroitel'nykh materialov i izdeliy". Uchebnik. Tashkent. C.232-242, 2015.





[5] Raximov Sh.T. Sovremennoe sostoyanie ispolzovaniya razlichnix materialov v zakladochnix smesyax / Materiali VI-mejdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferensii "Sovremennoe sostoyanie i perspektivi razvitiya stroitelstva, teplogazosnabjeniya i energoobespecheniya". Rossiya. Saratov. 9-10 noyabr. S.69-72. 2017.

[6] QMQ 3.03.06-99. Qurilish qorishmalarini tayyorlash va qo'llash.

## Mualliflar ma'lumotlar

to'g'risida

**Akramov  
Xusniddin  
Axrarovich /  
Akramov  
Khusniddin  
Ahrarovich**

Toshkent arxitektura qurilish universiteti, Qurilish materiallari va konstruksiyalari texnologiyasi kafedrası professori, t.f.d.

E-mail:

[xusniddin.akramov48@gmail.com](mailto:xusniddin.akramov48@gmail.com)

**Raximov  
Shavkat  
Turdimurotovich  
/ Rakhimov  
Shavkat  
Turdimurotovich**

Toshkent arxitektura qurilish universiteti, Qurilish materiallari va konstruksiyalari texnologiyasi kafedrası dosenti, t.f.f.d.

E-mail:

[raximov.12081979@mail.ru](mailto:raximov.12081979@mail.ru)



## Optimization of the composition of fine-grained concrete reinforced with polypropylene fiber

I.M. Makhamataliev<sup>1</sup><sup>a</sup>, R.B. Muminov<sup>1</sup><sup>b</sup>, Sh.A. Uzakov<sup>1</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article presents the results of research on optimizing the composition of fine-grained concrete reinforced with polypropylene fiber. Based on the implementation of an active experiment using the method of mathematical experiment planning, a mathematical model of the compressive strength limit of the modified cement stone was obtained. Through graphical-analytical analysis, the optimal values of formulation and technological parameters were determined, namely: the dosage of the superplasticizer MasterGlenium ACE 430 – 1.0% of the mass of the cement binder, the content of the mineral filler – ground zeolite-containing rock – 18% of the mass of the cement binder, and the content of polypropylene fiber FOX POLFIBER M12 – 0.4% of the mass of the cement binder.

**Keywords:** fine-grained concrete, fiber-reinforced concrete, polypropylene, fibrous fiber, microstructure, matrix, porosity, strength, properties, fiber-reinforced concrete mixture, cement, compression, bending, composition, superplasticizer, mineral filler, zeolite-containing rock, dispersed reinforcement, composite

## Оптимизация состава дисперсно-армированного полипропиленовым фиброволокном мелкозернистого бетона

Махаматалиев И.М.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Муминов Р.Б.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Узаков Ш.А.<sup>1</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований по оптимизации состава дисперсно-армированного полипропиленовым фиброволокном мелкозернистого бетона. На основании реализации активного эксперимента методом математического планирования экспериментов получена математическая модель предела прочности на сжатие модифицированного цементного камня, проведением графоаналитического анализа которого были установлены оптимальные значения рецептурно-технологических параметров, а именно: дозировки суперпластификатора MasterGlenium ACE 430 – 1,0 % от массы цементного вяжущего, содержания минерального наполнителя – молотой цеолитсодержащей породы – 18 % от массы цементного вяжущего, и содержания полипропиленовой фибры FOX POLFIBER M12 – 0,4 % от массы цементного вяжущего.

**Ключевые слова:** мелкозернистый бетон, фибробетон, полипропилен, фиброволокно, микроструктура, матрица, пористость, прочность, свойства, фибробетонная смесь, цемент, сжатие, изгиб, состав, суперпластификатор, минеральный наполнитель, цеолитсодержащая порода, дисперсное армирование, композит

### 1. Введение

В настоящее время одним из перспективных конструктивных строительных материалов являются дисперсно-армированные бетоны. Такие бетоны представляют собой инновационный композиционный материал, которые в настоящее время все широко применяются в различных отраслях строительства. Дисперсное армирование осуществляется волокнами – фибрами, равномерно распределенными в объеме бетонной матрицы, обеспечивая при этом работу бетона в трехмерном объеме. На сегодняшний день фибра представлена в виде стальных, синтетических и органических волокон. [1 - 4].


**Литературный анализ.** Применение фибры влияет на эксплуатационные характеристики бетона, а также

приводит к увеличению отношения пределов прочности при сжатии и растяжении ( $R_b/R_{bt}$ ). При этом экономическая эффективность применения фибробетона повышает конкурентоспособность по сравнению с другими видами железобетона.

Эксплуатационные свойства фибробетона, как и любого композиционного материала, обуславливаются свойствами совместной работы его компонентов: фибры и бетона-матрицы. В фибробетоне такая работа обеспечивается за счет сцепления и анкеровки фибры в матрице композита [5].

Фибробетоны на основе синтетических волокон отличаются высокими значениями основных показателей эксплуатационных свойств [6]. Многочисленные исследования [7-15] показывают, что применение синтетических волокон в качестве армирующего материала обычно приводит к уменьшению усадочных деформаций хрупкой

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0002-5945-2565>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5297-1736>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5317-2602>



цементной матрицы, повышению морозостойкости, истиранию, атмосферостойкости и значительному увеличению прочностных характеристик и показателей вязкости разрушения бетонов на всех структурных уровнях.

В настоящее время разработаны многочисленные способы управления формированием структуры фибробетонов и выявлены особенности изменения их свойств в зависимости от применения различных видов добавок, микронаполнителей и дисперсного армирования. Однако широкомасштабное практическое использование фибробетонов в строительной отрасли до сих пор не наблюдается. На наш взгляд, сдерживающим фактором в более широком практическом применении дисперсно-армированных фиброволокном бетонов является отсутствие утвержденной нормативной и технической базы по применению тех или иных разновидностей фиброволокна, а также руководящих нормативно-технических документов и инструкций по расчёту строительных конструкций из фибробетонов, в частности с применением полипропиленовых фиброволокон.

В НИЛ Ташкентского транспортного университета в течение многих лет ведутся исследования по изучению влияния полипропиленовой фибры FOX POLFIBER M12, производства компании Sartech Yarı Malzemeleri San. ve Tic. Ltd. Şti. (Турция) на свойства цементных бетонов. Как показали исследования наиболее эффективными с точки зрения повышенных эксплуатационных показателей являются фибробетоны с полипропиленовой фиброй на основе цементного вяжущего.

## 2. Методика исследования

Оптимизацию состава дисперсно-армированного полипропиленовым фиброволокном мелкозернистого бетона производили с использованием метода математического планирования экспериментов путем реализации трёхфакторного плана второго порядка на гиперкубе [16,17]. В качестве объекта исследования принята матрица модифицированного мелкозернистого фибробетона, содержащая в своем составе следующие компоненты: цемент, минеральный наполнитель-МЦП, полипропиленовую фибру FOX POLFIBER M12, поликарбоксилатный суперпластификатор MasterGlenium ACE 430 и вода затворения.

В экспериментальных исследованиях были использованы: портландцемент марки ЦЕМ0 42.5Н производства ОАО «Ахангаранцемент» (ГОСТ 31108-2020), мелкий заполнитель - речной кварцевый песок Куйлюкского карьера с модулем крупности  $M_{кр}=1,81$  и средней плотностью  $\rho=2000$  кг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 26633-2012), полипропиленовая фибра FOX POLFIBER M12 квадратного сечения размером 20 мкм и длиной волокна 12 мм производства компании Sartech Yarı Malzemeleri San. ve Tic. Ltd. Şti. н (Турция), молотая цеолитсодержащая порода Бельтауского месторождения (Навоинская обл.) с удельной поверхностью  $S_{уд}=4000$  см<sup>2</sup>/г и следующим химическим составом, мас. %: SiO<sub>2</sub> -50,8; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 26,4; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 2,8; Na<sub>2</sub>O -10,3; MgO -1,5; CaO - 1,8; H<sub>2</sub>O+ - 6,4; потери при прокаливании 3,2, гиперпластификатор MasterGlenium ACE 430 производства компании

«BASF» (Германия), представляющий собой жидкость коричневого цвета плотностью  $1,06\pm 0,02$  г/см<sup>3</sup>. Для определения прочностных свойств фибробетона по стандартной методике изготавливали образцы-кубы размером 10х10х10 см. Образцы испытывались на прочность при сжатии в 28-суточном возрасте после нормального твердения согласно ГОСТ 10180-2012.

Обсуждение. В качестве исходных независимых переменных были выбраны следующие факторы: X<sub>1</sub> - содержание суперпластификатора в % от массы вяжущего; X<sub>2</sub> - содержание минерального наполнителя - МЦП в % от массы вяжущего; X<sub>3</sub> - расход полипропиленового фиброволокна, также в % от массы вяжущего. Уровни варьирования независимых переменных факторов приведены в таблице 1, а матрица планирования и результаты испытаний в таблице 2.

В качестве выходного параметра или параметра отклика был выбран: Y<sub>1</sub>-предел прочности при сжатии матрицы мелкозернистого фибробетона, т.е. модифицированного цементного камня (R<sub>сж</sub>), МПа.

Таблица 1

Исходные данные для реализации трёхфакторного плана экспериментов второго порядка

Факторы	Наименование факторов	Уровни варьирования факторов		
		-1	0	+1
X <sub>1</sub>	Содержание СП, %	0,5	1,0	1,5
X <sub>2</sub>	Содержание МЦП, %	10	15	20
X <sub>3</sub>	Расход ПФ, %	0,1	0,3	0,5

Таблица 2

Матрица планирования экспериментов и полученные результаты по ним

№ опытов	Матрица планирования			Результаты опытов
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	R <sub>сж</sub> , МПа
1	-1	-1	-1	17,75
2	+1	-1	-1	20,66
3	-1	+1	-1	11,87
4	+1	+1	-1	14,85
5	-1	-1	+1	12,62
6	+1	-1	+1	15,68
7	-1	+1	+1	6,92
8	+1	+1	+1	9,85
9	-1,25	0	0	12,48
10	+1,25	0	0	15,52
11	0	-1,25	0	19,34
12	0	+1,25	0	13,38
13	0	0	-1,25	19,26
14	0	0	+1,25	14,02
15	0	0	0	16,25
16	0	0	0	17,02
17	0	0	0	17,14
18	0	0	0	16,65
19	0	0	0	16,88
20	0	0	0	16,70



### 3. Результаты исследования

После реализации матрицы планирования и статистической обработки полученных результатов экспериментов по 20 независимым опытам было получено следующее уравнение регрессии (математическая модель прочности при сжатии):

$$R_{сж} = 16,68 + 4,03X_1 + 15,34X_2 + 14,015X_3 - 0,31X_1X_2 + 7,75X_1X_3 - 10,08X_2X_3 - 4,12X_1^2 - 4,86X_2^2 - 6,46X_3^2;$$

Для проверки адекватности полученного уравнения регрессии, произведена оценка их статистической значимости путем сравнения расчетных значений критерия Фишера с табличными значениями. Результаты сравнения критерия Фишера по уравнениям регрессии представлены в таблице 3.

Таблица 3

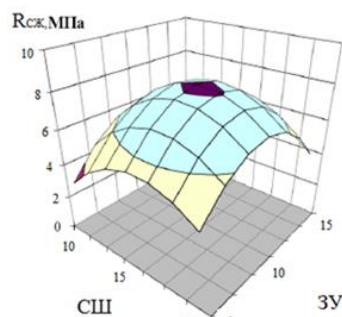
Статистическая оценка полученных зависимостей по критерию Фишера

№ зависимости	Критерий Фишера	
	Табличное значение	Расчетное значение
1	5,05	4,99
2	5,05	4,31

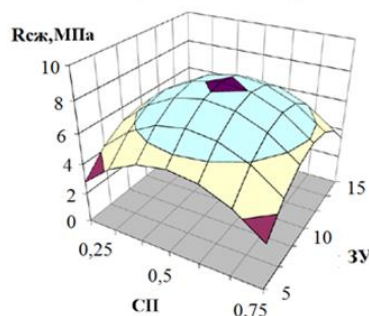
На рис.1 приведена графическая интерпретация результатов обработки математической модели с использованием программного продукта.

Как следует из математической модели ( $R_{сж}$ ), с увеличением содержания суперпластификатора MasterGlenium ACE 430, минерального наполнителя - МЦП и полипропиленового фиброволокна FOX POLFIBER M12 в составе многокомпонентного цементного вяжущего наблюдается рост пределов прочности на сжатие модифицированного цементного камня. Совместное повышение содержания суперпластификатора MasterGlenium ACE 430, минерального наполнителя-МЦП и полипропиленовой фибры FOX POLFIBER M12 приводит к постепенному повышению прочности, а затем и к незначительному его снижению. Понижение прочности модифицированного цементного камня на основе многокомпонентного цементного вяжущего при повышенных значениях переменных факторов объясняется блокирующим действием на частицы цементного вяжущего молекул суперпластификатора и частиц минеральных наполнителей, что особенно ясно проявляется при их чрезмерном введении в состав композита.

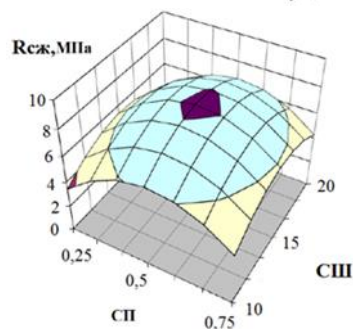
Как показывает анализ математической модели прочности при сжатии модифицированного цементного камня в выбранном интервале переменных факторов наиболее значимым фактором, влияющим на прочность цементного композита является фактор  $X_3$ , т.е. содержание полипропиленового фиброволокна, вторым по значимости фактором математической модели является фактор  $X_2$ , т.е. содержание минерального наполнителя-МЦП и наименее значимым фактором –  $X_1$ , т.е. содержание суперпластификатора.



$X_1 = \text{const} = 0,5\% \text{ от массы вяжущего}$



$X_2 = \text{const} = 15\% \text{ от массы вяжущего}$



$X_3 = \text{const} = 10\% \text{ от массы вяжущего}$

Рис. 1. Влияние содержания компонентов матрицы мелкозернистого фибробетона на предел прочности при сжатии композита

Для выявления оптимальных значений переменных факторов математической модели был выполнен функциональный анализ полинома второй степени -  $R_{сж}$ . Для этого решали соответствующие уравнения относительно факторов  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$ , которое получали путем приравнивая нулю первых производных математической модели взятых относительно вышеуказанных переменных факторов.

### 4. Заключение

Таким образом, графоаналитическим анализом выполненным согласно [4] полученной математической модели предела прочности на сжатие модифицированного цементного камня были установлены оптимальные значения всех 3 переменных факторов, а именно: дозировки суперпластификатора MasterGlenium ACE 430 – 1,0 % от массы цементного вяжущего, содержания минерального наполнителя – МЦП – 18 % от массы цементного вяжущего, и содержания полипропиленовой фибры FOX POLFIBER M12 – 0,4 % от массы цементного вяжущего. Только при





соблюдении этих оптимальных значений переменных факторов достигается максимальное значение предела прочности на сжатие модифицированного цементного камня. Однако, для практических целей рекомендуется использовать следующий состав дисперсно-армированного полипропиленовым фиброволокном мелкозернистого бетона, наиболее рациональный с экономической точки зрения и характеризующийся высокими эксплуатационными показателями: дозировка суперпластификатора MasterGlenium ACE 430 – 0,8 % от массы цементного вяжущего, содержания минерального наполнителя – МЦП – 20 % от массы цементного вяжущего, и расход полипропиленового фиброволокна FOX POLFIBER M12 – 0,3 % от массы цементного вяжущего.

Как показывают экспериментальные исследования, предлагаемый состав фибробетонной смеси с полипропиленовым фиброволокном имеет несомненные преимущества по сравнению с известными составами. Мелкозернистые фибробетоны по разработанным составам модифицированной фибробетонной смеси могут быть использованы при изготовлении сборных и монолитных железобетонных изделий и конструкций для строительства зданий и сооружений жилищно-гражданского, промышленного, гидротехнического и транспортного назначения.

## Использованная литература / References

- [1] Адылходжаев А.И. Махаматалиев И.М., Тургунбаев У.Ж., Цой В.М.; под.общ. ред. Адылходжаева А.И. Интенсивные технологии строительства. (Монография). –Ташкент, Изд-во «Фан ва технология», 2016. -228 с.
- [2] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. Под. общ. ред. Адылходжаева А.И. Композиционные строительные материалы (Монография). - «LAMBERT»ACADEMICPUBLISHING, 2018 -176 с.
- [3] Bhikshma V., Manipal K. Study on mechanical properties of recycled aggregate concrete containing steel fibers. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), №2. 2012.
- [4] Brandt A. M. Cement – Based Composites. Materials, Mechanical Properties and Performance. 2 edition. - Spon Press, 2017.

[5] Веревицева М.А., Берестянская А.А., Дериземля С.В. Выбор рациональных параметров фибрового армирования. УДК 693.55. Сборник научных трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение». Вып.82. – Днепр, 2015.

[6] Опанасенко Е. В., Берестянская А.А. Виды фибрового армирования Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди / Збірник наукових праць Національного університету водного господарства та природокористування. Вып. 30. – Рівне, 2015.

[7] Суховая, С. И. Фибробетон. Наука ЮУрГУ. Секции технических наук: материалы 67-й науч. конф.- Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015.

[8] Талантова К. В. Строительные конструкции с заданными свойствами на основе сталефибробетона: дис. д-ра техн. наук: 05.23.01 / Талантова Клара Васильевна; Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2009. Арипов Ж.А. Автореферат диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам. Модели и алгоритмы обеспечения надежности высокоскоростных сетей передачи данных. Ташкент. 2024. <https://api.ziyouet.uz/uploads/books/10000014/BS6nApfS-Kj24MY7.pdf>

## Информация об авторах/ Information about the authors

<b>Махаматалиев Иркин Муминович/ Makhamataliev Irkin Muminovich</b>	Ташкентский государственный транспортный университет Доктор технических наук, профессор, Email: <a href="mailto:erkinmah@mail.ru">erkinmah@mail.ru</a> Tel.: +998908066545 <a href="https://orcid.org/0009-0002-5945-2565">https://orcid.org/0009-0002-5945-2565</a>
<b>Муминов Равшан Бахромович/ Muminov Ravshan Bakhromovich</b>	Ташкентский государственный транспортный университет Докторант E-mail: <a href="mailto:rgfmuminov@yahoo.com">rgfmuminov@yahoo.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-5297-1736">https://orcid.org/0000-0002-5297-1736</a>
<b>Узаков Шербек Акбарович/ Uzakov Sherbek Akbarovich</b>	Ташкентский государственный транспортный университет Докторант E-mail: <a href="mailto:uzakovsherbek9@gmail.com">uzakovsherbek9@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-5317-2602">https://orcid.org/0000-0002-5317-2602</a>

# Critical analysis of modern technologies and formulations of non-autoclaved aerated concrete for production conditions in the Republic of Uzbekistan

V.M. Soy<sup>1</sup><sup>a</sup>, G.S. Nuriddinova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** Foam concrete is a modern and efficient thermal insulation material, representing a system of interconnected air cells within a cement matrix. Considering the promising potential for improving technologies and compositions of foam concrete, further development of formulation and technological approaches is justified. A critical analysis concludes that the introduction of fiber and a modifying component, combined with chemical additives acting as hardening accelerators, positively affects the operational properties of foam concrete and the rheological characteristics of foam-cement mixtures.

**Keywords:** foam concrete, modification, shrinkage during drying, fiber, surfactant (SAA)

## Критический анализ современных технологий и рецептур неавтоклавного пенобетона для условий производства в Республике Узбекистан

Цой В.М.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Нуриддинова Г.С.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Пенобетон – современный эффективный теплоизоляционный материал, представляющий собой систему, сообщающихся воздушных ячеек в цементной матрице. Учитывая перспективность усовершенствования технологий и составов пенобетонов, имеет смысл дальнейшая разработка рецептурных и технологических приемов. По критическому анализу делается вывод о том, что введение фибры и модифицирующего компонента в сочетании с химическими добавками, как ускорители твердения, положительно сказывается на эксплуатационные и физико механические свойства неавтоклавного пенобетона.

**Ключевые слова:** пенобетон, модификация, усадка при высыхании, фибра, ПАВ

### 1. Введение

Пенобетон – современный эффективный теплоизоляционный материал, представляющий собой систему, сообщающихся воздушных ячеек в матрице. Ключевые характеристики достигаются за счет низкой плотности и малого коэффициента теплопроводности. Но структурообразование данного материала на микро- и макроуровне трудно поддается управлению и регулированию. Требуется одновременная корректировка нескольких параметров таких как реологические свойства, усадка при высыхании, трещиностойкость. Параллельное применение рецептурных и технологических приемов дает синергетический эффект при решении задач повышения эксплуатационных свойств пенобетонов.


### 2. Методика исследования

В статье применены несколько методов теоретического исследования. Методом анализа рассмотрено влияние всех компонентов состава пенобетона на его усадочные деформации и прочность. Методом синтеза установлен связь и зависимость

рецептурно -технологических факторов улучшения состава пенобетона. Так как в ряде научных работ [5-15] образцы пенобетонов с применением минеральных добавок и фибры показали низкие усадочные деформации, по методу индукции сделан вывод о пользе минеральных, химических добавок в сочетании с фибрами.

Один из существенных недостатков пенобетона это – усадка при высыхании. По данным [1-4] можно указать причины усадок: 1. Объем гидратированных продуктов меньше, чем исходный объем вяжущего; 2. Физическая усадка - вода из пор, находящихся в пузырьках, также испаряется, и структура начинает сжиматься, вызывая микротрещины в материале, что также способствует дальнейшей усадке. 3. Изменение влажности поразному действует на цементную матрицу и газовую фазу. Так как цементная матрица теряет воду быстрее, чем поры происходит неравномерная усадка. Это приводит к напряжению внутри материала, что способствует развитию микротрещин, особенно при наличии высоких уровней влажности в первоначальной смеси. 4. Отрицательное действие ПАВ и пластифицирующих добавок как замедление процессы схватывания и твердения вяжущего, что может привести к деструкции пеноцементной системы до момента схватывания вяжущего - пеноцементная масса дает

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0009-7560-2691>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0005-4832-4623>



усадку, по высоте свежеуложенного массива образуются сплошные каналы слияния пузырьков и снижению эксплуатационных показателей конечного продукта. 5. С точки зрения коллоидной химии

пеноцементная масса относится к лиофобным грубодисперсным высококонцентрированным системам, которые седиментационно неустойчивые.



Рис.1. Совокупность рецептурных и технологических приемов

Для решения этой задачи нужно применить комплекс рецептурно-технологических приемов с разного аспекта, т.е. выбрать разные объекты рецептурного приема и варьировать количественными показателями рецептурного состава. Например, по данным [5] который эффективно применил ускоритель твердения NaF, NaCl (0,5 и 5 % от массы вяжущего) совместно с кремне- и железосодержащей добавкой для пенобетона на протеиновом пенообразователе. Стабилизация пены, увеличение толщины пленки возникает в результате взаимодействия частиц золя кремниевой кислоты и пенообразователя с образованием структурного пространственного кремнепротеинового комплекса. Наблюдается повышение устойчивости пены в 4 раза, уменьшение среднего диаметра пор от 600 мкм до 520 мкм, увеличение числа пор среднего диаметра и прочности продукта. В данных образцах появляется новая фаза - гидро силикат афвиллит. Взаимодействие вводимых добавок с твердым каменным скелетом пенобетона приводит к связыванию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в новообразования.

Или же можно отметить эффективность совокупности нескольких рецептурных мер в исследованиях [6], где применили модифицирующие добавки кварцевую суспензию, ангидрит и калиевые, натриевые активаторы твердения и базальтовую фибру. Стабилизация пенной структуры с увеличением стойкости достигается избытком твердой фазы, не осевшей на поверхности пузырька из-за высокой ее концентрации. Это обеспечивает закупорку каналов Плато-Гиббса с формированием уплотненной упаковки твердых частиц в межпузырьковом пространстве.

Анализ данных [7] показывает, что дисперсное армирование в комбинации низкомолекулярных (полипропиленовые) и высокомолекулярных (базальтовые) волокон значительно снижает усадку и повышает прочность пенофибробетона. Волокна создают пространственный каркас, и чем меньше их диаметр и длина, больше содержание в структуре ячеистого бетона, тем меньше длина трещин. Волокна изменяют капиллярную структуру пористости, делая ее

преимущественно замкнутой. Таким образом, усадка уменьшается из-за затруднения испарения капиллярной влаги. Высокомолекулярные волокна сдерживают усадочные деформации и блокируют образование трещин в плотных межпоровых перегородках с момента начала формирования структуры и при последующей эксплуатации фибропенобетона. Низкомолекулярные волокна исключают развитие усадочных явлений и трещинообразования на уровне макроструктуры композита. Такой же эффект армирования достигается за счет применения синтетических волокон [8], где с помощью фибры изменено напряженно-деформативное состояние материала под действием сжимающих нагрузок, поэтому параметры его призмочной прочности на 30-35% превышают кубиковую прочность, повышение прочности на растяжение при раскалывании в 1,2-2,5 раза.

Армирование пенобетонов на основе протеинового пенообразователя отрезками базальтовых волокон с кремнесодержащим составом  $\text{SiO}_2$  – 48-51% тоже дают возможность уменьшения усадки при высыхании до 1,37 мм/м, более чем в 2 раза [9]. Это объясняется с тем, что на границе цементного камня и базальтового волокна находящегося в аморфном состоянии происходит хемосорбционное взаимодействие с продуктами гидратации цемента, с образованием тончайших игольчатых кристаллов на поверхности цементных зерен, а также, крупных, но чрезвычайно тонких гексагональных пластин в межзерновом пространстве, упрочняющих систему целиком. Торцевую часть базальтового волокна проникают продукты гидратации цемента с образованием кристаллических сростков упрочняющих систему целиком. Базальтовое волокно состоит из еще более тонких волокон. Возможно, на их поверхности в местах механических дефектов создаются центры кристаллизации, с образованием сети тонких гексагональных пластин и игольчатых кристаллов, срастающихся со сферическими зёрнами цементной системы, дополнительно усиливая действие волокна как дисперсной арматуры. Благодаря этому происходит

увеличение прочности цементного камня.

Введение в систему кремнесодержащих минеральных наполнителей вместе с ускорителями твердения влияет двояко: уменьшает усадку, стабилизируя пенную массу и участвует в появлении новообразований цементной матрицы [10]. Применение высокодисперсных минеральных добавок различной удельной поверхности оптимизирует дисперсный состав – получается ячеистая структура с тонкими, плотными, прочными перегородками. Прочность повышается и усадка снижается за счет формирования однородной плотной структуры межпоровых перегородок и расширяющего действия этtringита, а также формирования низкоосновных тоберморитоподобных гидросиликатов кальция.

В этом направлении имеет место применение микрокремнезема в аморфном состоянии в комбинации их с золями-уноса для пенобетонов на синтетических пенообразователях. Анализируя данных [11], делаем вывод, что для синтетических пенообразователей скорость адсорбции на поверхности раздела фаз жидкость—газ очень велика, поэтому время достижения термодинамического равновесия очень короткое. В связи с этим необходимо вводить стабилизирующие добавки с определением ККМ. В качестве таких стабилизаторов участвуют раствор животного клея, жидкое стекло, сернокислородное железо, лигносульфонаты и др., или же используют высокодисперсные добавки в виде золы ТЭС, микрокремнезема, извести, доменных гранулированных шлаков. В таких случаях синтетические ПО имеют водородный показатель близкий к фоновому показателю цементного раствора, обладают большей устойчивостью и кратностью пены по сравнению с белковыми ПО. Синтетические пенообразователи оказывают большее влияние на поверхностное натяжение растворов, чем белковые.

Оценивая роль В/Т в усовершенствовании составов пенобетона по данным [11]: при значениях В/Т меньше 0,3 становится невозможным формирование пенобетонной смеси. Если В/Т превышает 0,76, снижается однородность исходной смеси и увеличивается расслоение пенобетона. Еще один немаловажный фактор это – разница показателя рН среды ПО и цементной системы - с увеличением разницы возрастает влияние стерического эффекта, что приводит к разрушению пены. Поэтому рН раствора ПО должен быть близок к фоновому рН цементного раствора.

С негативным влиянием ПАВ можно бороться с введением разных модифицирующих добавок. Например, по результатам [12] можно сделать вывод о том, что совместное применение комплексно модифицирующих добавок на основе алкилзамещенных фенолов и минеральных тонкодисперсных кремнистых наполнителей значительно повышает свойства пены - кратность до 40% и стойкость до 55%. Благодаря кремнесодержащему наполнителю седиментационная устойчивость пеномассы повысилась на 30%.

Что касается выбора типа пенообразователя, обобщая данные [5-12] можно сделать вывод, что синтетические ПО уступают протеиновые. Каждый вид ПО имеет свои требования по использованию такие как введение стабилизаторов, совместимость с другими компонентами пенобетона, температура воды и т.д.

Самыми важными методами регулирования технологического процесса в пенобетонах являются контроль температуры воды [14] и последовательность

введения компонентов [13]. Установлено [14], что синтетические пены, приготовленные на воде с температурой  $+4\pm 2^\circ\text{C}$ , сохраняют свою устойчивость в 2 раза дольше, чем пены на воде с температурой  $+20\pm 2^\circ\text{C}$ , и в 3 раза дольше, чем пены на воде с температурой  $+37\pm 2^\circ\text{C}$ . Пенообразование растворов на подогретой и теплой воде начинается с резкого роста объема пены в течение 1 и 2 минуты, с третьей минуты перемешивания воздухововлечение стабилизируется - большая часть адсорбционных свойств пенообразователей проявляется в течение 1-2 мин. Воздухововлечение же растворов ПАВ на воде максимальной плотности ( $+4\pm 2^\circ\text{C}$ ) характеризуется сравнительно плавным ростом в течение первых 5-6 мин., а затем стабилизируется. Ранняя потеря устойчивости и стойкости пенных пленок связаны со свойствами воды - чем выше её температура, тем больше размах колебаний молекул воды и тем быстрее разрушаются пленки, в которых она находится. Чем ниже температура воды, тем меньше водопотребность, определяемая по величине диаметра расплыва смеси на вискозиметре Суттарда.

Дисперсность теплых пен была низкой, чем крупнее пузырьки газовых включений в пеносмеси, тем более неустойчивыми они становятся и тем ниже будет качество затвердевшего бетона. Пены, изготовленные на воде  $+4^\circ\text{C}$ , обладают повышенной плотностью и дисперсностью.

Анализ физических свойств пен [15] показывает, что независимо от вещественной природы пенообразователя понижение температуры воды ведет к повышению показательных характеристик пен.

### 3. Выводы и рекомендации

Делая вывод из вышеизложенного, пенобетоны отличаются сложным структурообразованием на микро- и макроуровне при усовершенствовании их составов требуется комплекс мер по регулированию рецептурно-технологических факторов. Введение в состав минеральных наполнителей и химических модификаторов можно регулировать свойства разрабатываемого неавтоклавного пенобетона. В связи с этим представляется научный и практический интерес в исследовании физико-механических и эксплуатационных свойств неавтоклавного пенобетона на местных сырьевых материалах.

### Использованная литература / References

- [1] Mehta P.K. & Monteiro P.J.M.: Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill Education, 2014.
- [2] Sonebi M. The effect of the porosity on the drying shrinkage of cellular concrete. Cement and Concrete Research. 2004. 34(9).
- [3] Bentz D.P. Microstructure of cement-based materials. 2007. Materials Science of Concrete. Vol.
- [4] Gutsche S. Effect of shrinkage on cellular concrete properties. Construction and Building Materials. 2015. No. 92. Pp 91-97.





[5] Елисеева Н.Н., Пенобетоны неавтоклавного твердения на основе добавок наноразмера: Автореф. дис. канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2010.

[6] Нецвет Д.Д., Неавтоклавный пенобетон с комплексом минеральных модификаторов: Автореф. дис. канд. тех. наук. Белгород, 2019.

[7] Суворов И.Н., Дисперсное полиармирование как способ снижения усадки фибропенобетона: Автореф. дис. канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2016.

[8] Богатина А.Ю., Конструкционные фибропенобетоны для зданий гражданского типа: Автореф. дис. канд. тех. наук. Ростов-на-Дону, 2005.

[9] Калугин И.Г., Пенобетоны дисперсно-армированные базальтовым волокном: Дисс. канд. тех. наук. Красноярск, 2011.

[10] Касумов Ш.А., Пенобетон с повышенными эксплуатационными свойствами: Автореф. дис. канд. тех. наук. Москва, 2017.

[11] Горбач П.С., Эффективный пенобетон на синтетическом пенообразователе: Автореф. дис. канд. тех. наук. Улан-Уде, 2007.

[12] Букарева А.Ю., Неавтоклавный пенобетон с комплексной модифицирующей добавкой на основе алкилзамещенных фенолов: Автореф. дис. канд. тех. наук. Саратов, 2004.

[13] Черноситова Е.С., Теплоизоляционный пенобетон на модифицированных пеноцементных смесях: Автореф. дис. канд. тех. наук. Белгород, 2005.

[14] Смирнова П.В., Температурный фактор в технологии фибропенобетона: Автореф. дис. канд. тех. наук. Ростов-на-Дону, 2010.

[15] Л.В.Моргун, П.В. Смирнова, К.И. Костыленко, О.В. Пушенко, В.Н. Моргун., О влиянии температуры на особенности формирования структуры пенобетонных смесей. <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vliyani-temperatury-na-osobennosti-formirovaniya-struktury-penobetonnyh-smesey>.

## Информация об авторах/ Information about the authors

<b>Цой Владимир Михайлович / Soy Vladimir Mikheylovich</b>	Ташкентский государственный транспортный университет Доктор технических наук, профессор, e-mail: <a href="mailto:volodya_tsoy@inbox.ru">volodya_tsoy@inbox.ru</a> , <a href="https://orcid.org/0009-0009-7560-2691">https://orcid.org/0009-0009-7560-2691</a>
<b>Нуриддинова Гавхар Садулла кизи / Nuriddinova Gavhar Sadulla kizi</b>	Ташкентский государственный транспортный университет Докторант e-mail: <a href="mailto:nuriddinova_gavhar@mail.ru">nuriddinova_gavhar@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0009-0005-4832-4623">https://orcid.org/0009-0005-4832-4623</a>



## Vermiculite-based energy-saving concretes: experimental study of strength

N.K. Takhirzhanov<sup>1</sup><sup>a</sup>, A.S. Ismaylova<sup>2</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Karakalpak state university, Nukus, Karakalpakstan, Uzbekistan

**Abstract:** This study investigates the effect of vermiculite from the Tebinbulak deposit on the strength characteristics of concrete. Bending and compression tests were conducted on samples with varying vermiculite content. It was established that increasing the proportion of vermiculite reduces concrete strength but can contribute to improving its thermal insulation properties. The obtained results may be useful for developing lightweight and energy-efficient concrete composites.

**Keywords:** vermiculite, energy-efficient concrete, compressive strength, flexural strength, porosity, water-cement ratio

## Энергосберегающие бетоны на основе вермикулита: экспериментальное исследование прочности

Тахиржанов Н.К.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Исмаилова А.С.<sup>2</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Каракалпакский государственный университет, Нукус, Каракалпакстан, Узбекистан

**Аннотация:** В данной работе исследуется влияние вермикулита из Тебинбулакского месторождения на прочностные характеристики бетона. Проведены испытания на изгиб и сжатие образцов с различным содержанием вермикулита. Установлено, что увеличение доли вермикулита снижает прочность бетона, но может способствовать повышению его теплоизоляционных свойств. Полученные результаты могут быть полезны для разработки легких и энергосберегающих бетонных композитов.

**Ключевые слова:** вермикулит, энергосберегающий бетон, прочность при сжатии, прочность при изгибе, пористость, водоцементное отношение

### 1. Введение

Современные строительные технологии направлены на создание материалов, сочетающих высокие прочностные характеристики с энергоэффективностью. В связи с глобальным ростом энергопотребления в строительной отрасли, разработка энергосберегающих материалов становится приоритетной задачей. Согласно исследованиям, на отопление и кондиционирование зданий приходится до 40% общего энергопотребления [1]. Использование легких и теплоизоляционных бетонов позволяет значительно снизить теплопотери и улучшить энергоэффективность зданий.

Одним из перспективных компонентов для создания энергосберегающих бетонов является вермикулит. Это природный слоистый силикат с высокой пористостью, низкой теплопроводностью и способностью поглощать и удерживать значительное количество воды. Вермикулит успешно применяется в строительстве в качестве теплоизоляционного материала, однако его влияние на механические свойства бетона требует детального изучения. В частности, увеличение содержания вермикулита может привести к снижению прочности из-за увеличения пористости и водопоглощения.

В отличие от других легких заполнителей, таких как керамзит или пеностекло, вермикулит обладает большей сорбционной способностью и меньшей плотностью. Это делает его привлекательным с точки зрения снижения веса конструкций, но одновременно требует учета изменения водоцементного отношения (В/Ц) при проектировании состава бетона [2].


Однако, несмотря на преимущества, вермикулит имеет и ряд недостатков, которые могут ограничивать его применение в бетонах:

1. **Высокая сорбционная способность.** Вермикулит способен поглощать значительное количество воды, что приводит к увеличению В/Ц, снижению прочности цементного камня и ухудшению адгезии с цементной матрицей [3].

2. **Пониженная механическая прочность.** В отличие от традиционных заполнителей, таких как кварцевый песок или керамзит, вермикулит имеет более рыхлую структуру, что может способствовать формированию зон концентрации напряжений и снижению общей прочности бетона [4].

3. **Гигроскопичность и возможное снижение долговечности.** Из-за высокой пористости вермикулит может активно поглощать влагу из окружающей среды, что может приводить к изменениям объема, потере прочности и потенциальному разрушению структуры материала при циклах замораживания-оттаивания.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0004-4251-7101>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0000-4596-0759>



4. **Необходимость корректировки состава смеси.** Из-за особенностей вермикулита бетонные смеси с его содержанием требуют более тщательной оптимизации, включая использование специальных модификаторов, суперпластификаторов и регулирования количества воды, что может усложнить процесс проектирования и производства бетона.

В данном исследовании рассматривается влияние вермикулита, добываемого на Тебинбулакском месторождении, на прочностные характеристики бетона. Основная цель работы — экспериментальное определение влияния содержания вермикулита на прочность бетона при изгибе и сжатии, а также анализ его влияния на микроструктуру материала.

Для достижения этой цели в исследовании были поставлены следующие задачи:

1. Определить изменение прочности бетона при изгибе и сжатии в зависимости от содержания вермикулита.

2. Исследовать влияние вермикулита на водоцементное отношение и пористость цементного камня.

3. Провести сравнительный анализ полученных результатов с нормативными требованиями.

4. Оценить возможности практического применения таких бетонов в строительной индустрии.

Полученные результаты могут быть полезны для разработки новых составов легких и энергосберегающих бетонных композитов, обладающих оптимальным сочетанием теплоизоляционных и механических характеристик.

## 2. Методика исследования

Для проведения исследования были изготовлены бетонные образцы размером 40×40×160 мм, соответствующие требованиям ГОСТ 310.4-81. В качестве контрольного состава использовалась стандартная смесь без вермикулита, а в трех экспериментальных составах часть песка была заменена на вермикулит в различных количествах.

### Материалы

Компоненты бетонных смесей включали:

- Портландцемент (ЦЕМ I 42,5) — основное вяжущее вещество.
  - Зола-унос — используется для частичной замены цемента и улучшения структуры цементного камня.
  - Песок (фракция 0,16–2,5 мм) — мелкий заполнитель, обеспечивающий плотную структуру бетона.
  - Вермикулит (Тебинбулакское месторождение, фракция 0,5–2 мм) — легкий пористый заполнитель.
  - Микрокремнезем — применяется для повышения прочности и улучшения сцепления между компонентами.
  - Суперпластификатор — уменьшает водопотребность смеси, улучшает удобоукладываемость.
  - Вода (дистиллированная) — необходима для гидратации цемента.
- Химический состав вермикулита был предварительно проанализирован, и его основные

характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики вермикулита

Показатель	Значение
Насыпная плотность, кг/м³	100–150
Пористость, %	85–95
Водопоглощение, %	250–400
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,04–0,06

### Составы бетонных смесей

Для исследования были разработаны четыре состава бетона:

Таблица 2

Состав образцов

№ состава	1	2	3	4
Цемент (г)	600	600	600	600
Зола (г)	260	260	260	260
Песок (г)	663	663	663	663
Вермикулит (г)	-	408	508	608
Микрокремнезем (г)	60	60	60	60
Суперпластификатор (г)	15	15	15	15
Вода (г)	310	600	625	690

### Методика испытаний

Образцы выдерживались в нормальных условиях при температуре (20±2)°C и относительной влажности (≥95%) в течение 28 суток. После набора прочности были проведены испытания механических характеристик:

1. Прочность при изгибе определялась методом трехточечного изгиба с расстоянием между опорами 100 мм согласно ГОСТ 310.4-81. Нагрузка прикладывалась централизованно до разрушения образца.

2. Прочность при сжатии измерялась на половинках разрушенных образцов согласно ГОСТ 10180-2012. Каждая половина подвергалась осевому сжатию до достижения предельной нагрузки.

### Оценка водоцементного отношения и пористости

Так как вермикулит обладает высокой водопоглощающей способностью, для каждой смеси рассчитывалось фактическое водоцементное отношение (В/Ц). Измерение общей пористости бетона проводилось методом насыщения водой с последующим гидростатическим взвешиванием.

Дополнительно были проведены петрографический анализ и сканирующая электронная микроскопия (SEM) для визуализации структуры цементного камня и изучения распределения пор.

### Статистическая обработка данных

Каждое испытание проводилось на трех образцах. В результате были получены средние значения прочностных характеристик и стандартные отклонения. Статистическая обработка выполнялась методом дисперсионного анализа для оценки значимости различий между составами.

## 3. Результаты

В данном разделе представлены результаты испытаний прочности при изгибе и сжатии, а также



проведен анализ водоцементного отношения и структуры пористости.

### Прочность при изгибе

Испытания показали, что с увеличением содержания вермикулита прочность бетона при изгибе уменьшается. Это связано с увеличением пористости и снижением плотности смеси. Полученные результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3

#### Прочность образцов при изгибе

№	Состав	Нагрузка при разрушении (Н)	Прочность при изгибе (МПа)
1	Без вермикулита	4570	10,71
2	С вермикулитом (408 г)	2840	6,64
3	С вермикулитом (508 г)	2600	6,08
4	С вермикулитом (608 г)	2440	5,71

Испытания показали, что с увеличением содержания вермикулита прочность бетона при изгибе уменьшается. Это связано с увеличением пористости и снижением плотности смеси. Полученные результаты сведены в таблицу 3.

На рисунке 1 представлена зависимость прочности при изгибе от содержания вермикулита.

Зависимость прочности при изгибе от содержания вермикулита

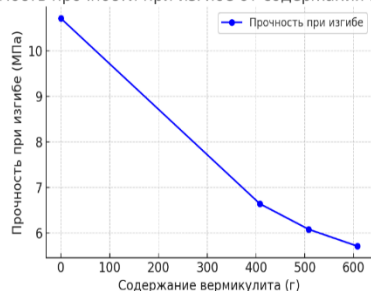


Рис. 1. График изменения прочности при изгибе

### Прочность при сжатии

Прочность бетона при сжатии также снижается при увеличении содержания вермикулита. Основные причины этого — увеличение количества воздушных пор и снижение плотности цементного камня. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

#### Прочность при сжатии бетонных образцов

№	Состав	Нагрузка при разрушении (Н)	Прочность при сжатии (МПа)
1	Без вермикулита	-	-
2	С вермикулитом (408 г)	20490	12,81
3	С вермикулитом (508 г)	15350	9,59
4	С вермикулитом (608 г)	14730	9,21

На Рисунке 2 представлена зависимость прочности при сжатии от содержания вермикулита.

Зависимость прочности при сжатии от содержания вермикулита

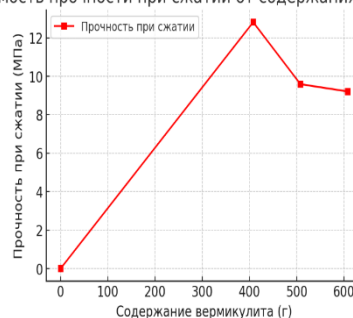


Рис. 2. График изменения прочности при сжатии

### Анализ водоцементного отношения (В/Ц)

Так как вермикулит обладает высокой водопоглощающей способностью, увеличение его содержания приводит к значительному росту водоцементного отношения (В/Ц). Это негативно сказывается на прочностных характеристиках.

Таблица 5

#### Водоцементное отношение различных составов

№	Состав	В/Ц
1	Без вермикулита	0,52
2	С вермикулитом (408 г)	1,00
3	С вермикулитом (508 г)	1,04
4	С вермикулитом (608 г)	1,15

На Рисунке 3 представлена зависимость В/Ц от содержания вермикулита.

Изменение В/Ц при увеличении содержания вермикулита

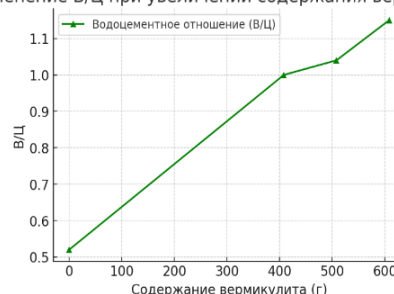


Рис. 3. График изменения В/Ц при увеличении содержания вермикулита

Как видно из данных, при В/Ц > 0,8 прочность снижается более интенсивно, что согласуется с моделью Powers для пористых бетонов.

### Анализ структуры пористости

Бетоны с вермикулитом обладают более разветвленной пористой структурой, что ухудшает сцепление между цементной матрицей и заполнителем. Петрографический анализ показал, что размер пор увеличивается от 0,1 до 0,5 мм по мере увеличения содержания вермикулита.

### Сравнение с нормативными требованиями

Согласно ГОСТ 25820-2014, прочность на сжатие бетонов с 508 г и 608 г вермикулита соответствует классу В7,5, что делает их пригодными для теплоизоляционных конструкций, но не рекомендуемыми для несущих элементов.



**Таблица 6**  
**Сравнение полученных данных с ГОСТ**

Состав	Прочность при сжатии (МПа)	Класс бетона по ГОСТ 25820-2014	Рекомендуемое применение
С вермикулитом (408 г)	12,81	B10	Легкие бетонные блоки
С вермикулитом (508 г)	9,59	B7.5	Теплоизоляционные панели
С вермикулитом (608 г)	9,21	B7.5	Теплоизоляционные панели

## 4. Обсуждение

### Влияние вермикулита на прочность

Результаты испытаний показывают, что с увеличением содержания вермикулита прочность систематически снижается. Это связано с несколькими ключевыми факторами:

- Рост пористости. Вермикулит — это пористый материал, который увеличивает объем воздушных пор в бетоне. При этом снижается плотность цементного камня, уменьшается количество контактов между заполнителем и цементной матрицей.
- Слабая адгезия. Поверхность вермикулита менее шероховатая по сравнению с песком, что приводит к худшему сцеплению с цементным тестом.
- Неравномерность структуры. Введение вермикулита приводит к гетерогенному распределению пор, что создает зоны концентрации напряжений и снижает механическую прочность.

### Влияние водоцементного отношения (В/Ц)

Как видно из Таблицы 4, рост содержания вермикулита приводит к увеличению В/Ц с 0,52 до 1,15. Это связано с тем, что вермикулит впитывает значительное количество воды, снижая эффективность гидратации цемента.

Согласно модели Powers, при В/Ц > 0,8 наступает резкое снижение прочности из-за увеличения количества капиллярных пор в структуре цементного камня [1]. Это согласуется с нашими экспериментальными данными (Рисунок 3).

Вывод: для предотвращения чрезмерного роста В/Ц необходимо либо вводить водоудерживающие добавки, либо снижать водопотребность состава за счет суперпластификаторов.

### Влияние структуры пористости

Использование вермикулита изменяет структуру пор в бетоне. Анализ показал, что:

- Увеличение содержания вермикулита приводит к увеличению среднего диаметра пор (от 0,1 до 0,5 мм).
- В цементной матрице формируются капиллярные и замкнутые поры, которые ухудшают механические свойства, но могут улучшать теплоизоляционные свойства.

### Сравнение с нормативными требованиями

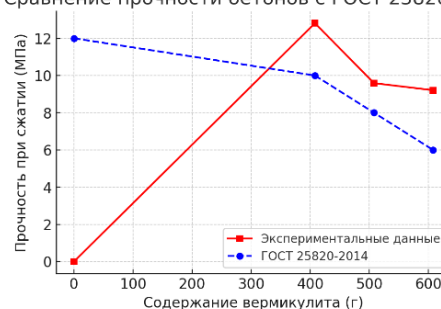
Согласно ГОСТ 25820-2014, бетонные смеси с 508 г и 608 г вермикулита соответствуют классу B7.5 и могут быть использованы в несущих конструкциях. Однако их применение в несущих элементах ограничено из-за недостаточной прочности.

Для повышения прочностных характеристик рекомендуется:

- Снижение В/Ц до 0,6–0,7 с использованием суперпластификаторов.
- Армирование волокнами (полипропилен, базальт, стекловолокно) для предотвращения разрушения по слабым зонам.
- Изменение градиента наполнителя — возможно частичное сохранение песка для улучшения структуры цементного камня.

На Рисунке 4 представлено сравнение полученных данных с нормативными значениями.

Сравнение прочности бетонов с ГОСТ 25820-2014



**Рис. 4. Сравнение полученных данных с нормативными значениями**

### Возможные недостатки вермикулита

Несмотря на преимущества (малый вес, теплоизоляционные свойства), вермикулит имеет ряд недостатков:

- Высокая водопоглощающая способность — требует увеличения расхода воды и использования пластификаторов.
- Снижение прочности — увеличение содержания вермикулита приводит к ухудшению механических характеристик.
- Неоднородность структуры — формирование дополнительных пор снижает долговечность материала.

### Возможные решения:

1. Импрегнация вермикулита гидрофобными составами перед введением в бетон.
2. Применение комплексных пластификаторов для снижения В/Ц.

Комбинация вермикулита с другими заполнителями, например, керамзитом или перлитом.

## 5. Выводы

На основе проведенного исследования были получены следующие основные выводы:

Прочность бетона при изгибе и сжатии уменьшается с увеличением содержания вермикулита. Это обусловлено ростом пористости, увеличением водоцементного отношения (В/Ц) и ухудшением адгезии между цементной матрицей и заполнителем.

Рост В/Ц от 0,52 до 1,15 при введении вермикулита приводит к значительному снижению механической



прочности. Согласно модели Powers, при  $V/C > 0,8$  наблюдается резкое ухудшение характеристик бетона из-за увеличения капиллярной пористости.

Анализ структуры пористости показал, что увеличение содержания вермикулита способствует формированию открытых и замкнутых пор. Это снижает прочность, но может положительно сказываться на теплоизоляционных свойствах материала.

Сравнение с нормативными требованиями (ГОСТ 25820-2014) показало, что составы с 508 г и 608 г вермикулита соответствуют классу В7.5, что позволяет их использовать в несущих теплоизоляционных конструкциях. Однако их применение в несущих элементах ограничено.

Основные недостатки вермикулита: высокая водопоглощающая способность, снижение прочности, неоднородность структуры. Для повышения характеристик рекомендуется применение гидрофобной обработки вермикулита, использование суперпластификаторов и комбинирование с другими пористыми заполнителями.

Практическое применение: результаты исследования могут быть полезны при разработке легких энергосберегающих бетонных композитов, используемых в строительстве. Особенно перспективно применение таких составов для теплоизоляционных панелей, блоков и покрытий.

Перспективы дальнейших исследований

✦ Изучение долговечности бетона с вермикулитом, в том числе его морозостойкости и водостойкости.

✦ Микроструктурный анализ (РЭМ, МРТ) для детального изучения распределения пор и фазовых взаимодействий.

✦ Испытания на теплопроводность, что позволит оценить влияние вермикулита на теплоизоляционные свойства бетона.

✦ Разработка композитов с комбинированными заполнителями для оптимального сочетания прочности и энергосбережения.

## Использованная литература / References

- [1] Трушевский С.Н. Легкие бетоны и их применение в строительстве. - Москва: Стройиздат, 2010.
- [2] ГОСТ 310.4-81. Бетоны. Методы определения прочности при изгибе.
- [3] ГОСТ 25820-2014. Бетоны ячеистые и легкие. Технические условия.
- [4] Плотников В.А. Теплоизоляционные свойства легких бетонов. - Санкт-Петербург: Наука, 2017.
- [5] Смирнов А.П. Влияние пористых заполнителей на свойства цементного камня. - Екатеринбург: УрО РАН, 2018.
- [6] Powers T.C. The Properties of Fresh Concrete. - New York: John Wiley & Sons, 1968.
- [7] Neville A.M. Properties of Concrete. - London: Pearson Education, 2011.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Тахиржанов Нурсултан Кайратович** Базовый докторант кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений"

Ташкентского государственного транспортного университета,  
e-mail:

[taxirjanovnursultan@gmail.com](mailto:taxirjanovnursultan@gmail.com)

Tel.: +998973554498

<https://orcid.org/0009-0004-4251-7101>

**Исмайлова Айсулу Султамуратовна** Ассистент кафедры градостроительства и хозяйства Каракалпакского государственного университета  
e-mail:



[ismaylovaaysuliw676@gmail.com](mailto:ismaylovaaysuliw676@gmail.com)

Tel.: +998942946564

<https://orcid.org/0009-0000-4596-0759>



## Structure of ceramic fragments with vermiculite additives in various forming methods

R.M. Auezbaev<sup>1</sup><sup>a</sup>, P.D. Lepesbaeva<sup>2</sup><sup>b</sup>



<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Karakalpak state university, Nukus, Karakalpakstan, Uzbekistan

**Abstract:** This article examines the methods of forming ceramic materials with vermiculite additives and their impact on the structure of these materials. The study compares samples obtained through various shaping technologies, including pressing, casting, and extrusion methods. The research investigates the microstructural changes, porosity levels, and mechanical properties resulting from the addition of vermiculite to the ceramic composition. Additionally, the article analyzes the effect of these materials on crucial properties such as lightness, thermal insulation, and strength. The obtained results serve to expand the potential applications of vermiculite-based ceramic materials in construction, thermal insulation, and other technical fields.

**Keywords:** expanded vermiculite, ceramic crock, adhesion, durability, low density, mechanical strength, international grains, semi dry, simply press

## Turli shakllantirish usullarida vermikulit qo'shimchali keramik parchaning tuzilishi

Auezbaev R.M.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Lepesbaeva P.D.<sup>2</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

<sup>2</sup>Qoraqalpog' davlat universiteti, Nukus, Qoraqalpog'iston, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada vermikulit qo'shimchali keramika materiallarini shakllantirish usullari va ularning tuzilishiga ta'siri o'rganiladi. Tadqiqotda turli shakllantirish texnologiyalari, jumladan, presslash, quyish va ekstruziya usullari orqali olingan namunalar taqqoslanadi. Vermikulitning keramika tarkibiga qo'shilishi natijasida hosil bo'ladigan mikrostrukturaviy o'zgarishlar, g'ovaklilik darajasi va mexanik xossalari tadqiq qilinadi. Maqolada, shuningdek, ushbu materiallarning yengilligi, issiqlik izolyatsiyasi va mustahkamlik kabi muhim xususiyatlariga ta'siri tahlil qilinadi. Olingan natijalar vermikulit asosli keramika materiallarining qurilish, issiqlik izolyatsiyasi va boshqa texnik sohalarda qo'llanilish imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi.

**Kalit so'zlar:** ko'pchitilgan vermikulit, sopol parchalari, yopishqoqlik, uzoq muddat chidamlilik, past zichlik, mexanik mustahkamlik

### 1. Kirish


Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi – turli shakllantirish usullarida vermikulit qo'shimchasi qo'shilgan keramik parchaning tuzilishini o'rganish va uning fizik-mexanik xususiyatlariga ta'sirini baholashdan iboratdir. Shu bilan birga, ushbu materiallarning ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish va ularning ekologik jihatdan xavfsizligini ta'minlash ham muhim vazifalar qatoriga kiradi.

Tadqiqot doirasida turli shakllantirish usullari – plastmassa, yarim quruq va quruq presslash texnologiyalarida tayyorlangan namunalarning tuzilishi va ularning mexanik xususiyatlari solishtiriladi. Ushbu yondashuv orqali vermikulitning keramik materiallarga ta'siri yanada aniqroq o'rganiladi.

Shunday qilib, ushbu ish natijalari keramika sanoati uchun yangi innovatsion yondashuvlarni ishlab chiqishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Deyarli barcha iqlim sharoitlarida turar-joy va ofis binolarini qurish uchun qo'llaniladigan eng maqbul, universal va vaqt sinovidan o'tgan qurilish materiali keramik g'ishtdir. U quyosh energiyasini to'plab, issiqlikni asta-sekin va bir tekis tarqatadi, bu esa uyni yozda haddan tashqari qizib ketishdan himoya qiladi va qishda issiqlikni saqlaydi. G'isht devor namlikni o'tkazib "nafas oladi", natijada xonalarda muvozanatli namlik darajasi saqlanib qoladi. Keramik materiallar yong'indan xavfsiz va ekologik jihatdan zararsiz bo'lsa-da, foydalanishda kam sinab ko'rilgan texnologiyalar asosida ishlab chiqarilgan yangi materiallar ko'pincha insonlar salomatligi va farovonligiga xavf tug'diradi. G'isht uylardan foydalanish xarajatlari past bo'lib, ular uzoq muddat davomida xizmat qiladi hamda ko'p yillar mobaynida texnik xizmat va kapital ta'mirlashni talab etmaydi. Yaxlit g'ishtning kamchiligi sifatida uning nisbatan yuqori zichligi va issiqlik o'tkazuvchanligini ko'rsatish mumkin.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0002-5170-9194>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0006-3316-5399>

## 2. Tadqiqot metodikasi

Qurilish sohasi uchun zarur bo'lgan samarali, uzoq muddat xizmat qiladigan va biopozitiv qurilish materiallariga bo'lgan ehtiyojni qisman samarali keramik mahsulotlar ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish orqali qondirish mumkin. Samaradorlikni oshirish maqsadida keramik kukun tarkibiga turli konlardan olingan ko'pchitilgan vermikulitlar, jumladan mahalliy xomashyo - O'zbekistonda vermikulit qazib olinadigan asosiy konlardan biri Qoraqalpog'iston Respublikasining Qorao'zak tumanidagi Tebinbuloq konidir. Bu konning aniqlangan vermikulit rudasi zaxirasi 3,944 ming tonnani tashkil etadi, shundan taxminan 592 ming tonna vermikulit konsentrati olish mumkin.

Tebinbuloq konidagi vermikulit konsentratining kimyoviy tarkibi quyidagi asosiy oksidlarning miqdori va nisbati bilan tavsiflanadi:

SiO<sub>2</sub> (Silisiiy dioksid) – 38-42% MgO (Magneziy oksid) – 20-25%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Temir oksidi) – 5-12% , Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alyuminiy oksidi) – 9-12%, CaO (Kaltsiy oksidi) – 1-3%, K<sub>2</sub>O (Kaliy oksidi) – 4-7%, Na<sub>2</sub>O (Natriy oksidi) – 1-2%

Vermikulitning tarkibidagi bu oksidlar uning kengayish qobiliyati, yong'inga chidamliligi, issiqlik izolyatsiyasi va agroteknik xususiyatlarini belgilaydi. Tebinbuloq konidan olinadigan vermikulit yuqori magniy miqdori va yaxshi fizik-kimyoviy xossalari bilan ajralib turadi.

Tebinbuloq konidan olinadigan vermikulitning ko'pchish koeffitsiyenti va fraktsiyalar bo'yicha yirikligi quyidagicha tavsiflanadi:

Ko'pchish koeffitsiyenti: 6–12 baravar (Bu degani, qizdirilganda hajmi 6-12 marta kengayadi.) Fraktsiyalar bo'yicha yirikligi:

Juda yirik – 0,5–1,0 mm, Yirik – 0,3–0,5 mm, O'rta – 0,1–0,3 mm, Mayda – 0,05–0,1 mm, Juda mayda (chang) – < 0,05 mm.

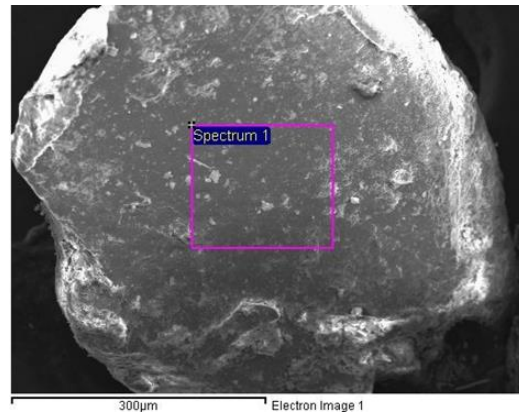
Tebinbuloq konidagi vermikulit yuqori ko'pchish koeffitsiyenti va issiqlik izolatsiyasi xususiyatlari tufayli qurilish materiallari, yong'inga chidamli qoplamalar, qishloq xo'jaligi substratlari va sanoat filtrlarida keng qo'llaniladi.

Tebinbuloq konining ko'pchitilgan vermikulit zarrachasining umumiy ko'rinishi va mikrostrukturasi 1-4-raslarda, nuqtaviy spektrlarning elementar tarkibi esa massa va atom foizlarida 1-2-jadvallarda keltirilgan.

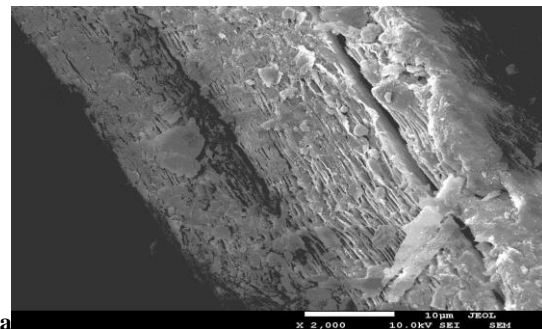
1-jadval

1-rasmda ko'rsatilgan maydonning spektral element tarkibi

Maydon bo'yicha spektrning elementar tarkibi			
Element	Element	Element	Element
O K	O K	O K	O K
Mg K	Mg K	Mg K	Mg K
Al K	Al K	Al K	Al K
Si K	Si K	Si K	Si K
K K	K K	K K	K K
Fe K	Fe K	Fe K	Fe K
Totals	Totals	Totals	Totals



1-rasm. Vermikulit zarrachasining ajralish tekisligi bo'yicha umumiy ko'rinishi (200 marta kattalashtirilgan)



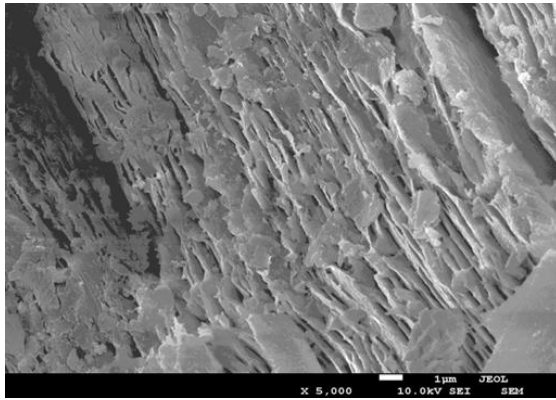
2-rasm. Namunaning sirt mikrostrukturasi yorilish tekisliklariga tik: a - ikkilamchi elektronlarda, 2000 marta kattalashtirilgan; b - spektr belgilari bilan, 1000 marta kattalashtirilgan

2-jadval

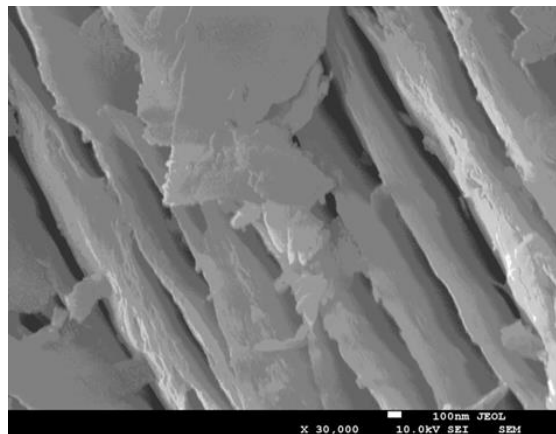
Yuza bo'ylab nuqtaviy spektrlarning elementar tarkibi (2-rasm)

Spectr um	Spektrlarning elementar tarkibi, barcha natijalar og'irlik bo'yicha %da						
	O	Mg	Al	Si	K	Fe	Tot al
Spectr um 1	45.52	9.87	3.92	12.12	1.87	26.69	100.00
Spectr um 2	41.45	11.23	5.54	16.44	3.53	21.80	100.00
Spectr um 3	43.25	10.31	5.02	17.82	3.21	20.38	100.00
Spectr um 4	40.55	9.77	3.98	12.48	2.62	30.60	100.00





3-rasm. Namuna yuzasining 5000 marta kattalashtirilgan mikrostrukturasi yorilish tekisliklariga perpendikulyar holda



4-rasm. Namunaning ulanish tekisliklariga perpendikulyar bo'lgan sirt mikrostrukturasi 30 000 marta kattalashtirilganda

2-4-raslarda ko'rsatilganidek, vermikulitning qatlamlararo bo'shlig'idagi modda nisbatan tartibli tuzilishga ega. Vermikulitlanish jarayoni ko'p hollarda to'liq yakunlanmaydi va natijada gidroslyudalar yoki vermikulit hamda gidratlangan slyudalar qatlamlarining ma'lum bir joylashuv shakli hosil bo'ladi.

Keramik massaga ko'pchitilgan vermikulit qo'shishning ta'sirini ikki jihatdan baholash lozim: u tizimning asosiy materiallariga tarkibi va tuzilishi bo'yicha yaqinmi hamda sopolak tuzilishining ishonchli elementi bo'la oladimi.

Ko'pchitilgan vermikulit qo'shilgan keramik materiallarni ishlab chiqarish bo'yicha tajribaviy tadqiqotlar Bo'ka koni (Toshkent viloyati) va Olmaliq atrofidagi kichik konlari gillarida olib borildi. Bunda yarim quruq presslash va plastik shakllantirish usullaridan foydalanildi.

Plastik konsistensiyali shixtadan mahsulotlarni qoliplashda qo'shimcha sifatida Tebinbuloq konining (TKV) ko'pchitilgan vermikulitining ikki fraksiyasi ishlatildi: TKV 1,25 va TKV 2,5. Sinov natijalari shuni ko'rsatdiki, fraksiya o'lchami kattalashgani sari mustahkamlik pasayib, suv shimuvchanligi ortib bordi. Bu holat, shubhasiz, vermikulit donalarining alohida plastinkalar orasidagi bog'lanishning zaifligi tufayli past mexanik mustahkamlikka ega ekanligi, ajralish tekisliklari bo'yicha parchalanishi hamda donalarning yuqori ochiq g'ovakligi va shunga mos ravishda suvni yutish xususiyati bilan izohlanadi. Shuning uchun ko'pchitilgan vermikulitning mayda fraksiyalari bilan ishlash maqsadga muvofiqdir, chunki ularning ko'pchitishdagi unumi ancha

yuqori va narxi arzonroq. Tadqiqot natijalari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

Ko'pchitilgan vermikulit qo'shilgan plastik shakllangan keramik mahsulotlarning fizik-mexanik xususiyatlari

Gil xomashy o koni	VVT qo'shimchasi miqdori, %	Zichlik, kg/m <sup>3</sup>	Siqilishga chidamlilik, MPa	Massa bo'yicha suv yutish, %	Issiqlik o'tkazuvchanlik, Vt/m <sup>2</sup> ·°C
Tebinbuloq koni	0	1600	14	10,9	0,640
	10	1190	6,1	11,5	0,103
	20	1160	5,7	20,5	0,090
	30	1055	5,5	28,5	0,085
	40	990	5,0	30,9	-
Bo'ka koni	0	1500	10	20,0	0,701
	10	1000	3,9	30,0	0,156
	20	790	3,5	46,0	0,148
	30	650	3,3	52,5	0,142
	40	410	2,9	57,0	-
Olmaliq koni	0	1650	10,5	10,2	0,589
	10	1000	5,8	13,0	0,139
	20	790	3,5	25,6	0,130
	30	610	3,0	37,5	0,125
	40	505	2,6	42,5	-

Ko'pchitilgan vermikulit qo'shimchali keramik buyumlar olishning ushbu usulining afzalliklari quyidagicha tushuntiriladi: keramik massaning dispers tizimida gidrofil gil materialining suv bilan peptizatsiyalanishi natijasida hosil bo'lgan yuzaki zol nafaqat donalar orasidagi bo'shliqlarga, balki donalar ichidagi ko'pchitilgan vermikulit plastinkalari orasiga ham kirib boradi va tizimni mustahkamlaydi. Bundan tashqari, vermikulit donalarining silliq yuzalari ko'plab noorganik bog'lovchilar bilan kuchsiz birikishi Rebinder qoidasiga ko'ra, murakkab alyumosilikatlardan iborat vermikulitga o'xshash tarkibli gilli xomashyo tabiati tufayli bartaraf etiladi. Donning solishtirma yuzasi ko'pchiganda bir necha barobar ortadi, shunga muvofiq zol bilan tutashish maydoni ham kengayadi.

Vermikulit qo'shimchasi ko'p miqdorda qo'shilganda, ko'pchitilgan vermikulit zarrachalari tomonidan qolip suvining yuqori darajada qo'sirilishi va gidrofil gil materialining sekinlashgan peptizatsiyasi natijasida gil zarrachalari atrofida koloid qobiqlarning hosil bo'lishi biroz qiyinlashadi. Bunday peptizatsiya mahsuloti sifatida paydo bo'ladigan sirt zolining hajmi yetarli bo'lmaydi. Tarkibida ko'pchitilgan vermikulit qo'shimchasi yuqori miqdorda bo'lgan keramik massa oqish xususiyatiga va yengil harakatlanishga ega emas. Uning qovushqoqligi yuqori bo'lib, shakllantirish jarayonida vermikulit donalaridan qoliplash namligi siqib chiqariladi. Bu esa sifatli birlashgan karkas hosil qilish imkonini bermaydi.

Shuningdek, keramik buyumlar yarim quruq presslash usuli bilan ham tayyorlangan. Tadqiqotlar hajm bo'yicha 10 va 30 % miqdorda ko'pchitilgan vermikulit qo'shilgan Olmaliq loyi ustida olib borildi.



Beshta keramik kukun o'rganildi (4-jadval). Kukunning reologik xususiyatlari bilan ko'pchitilgan vermikulit

qo'shimchasi orasidagi o'zaro bog'liqlikka alohida e'tibor qaratildi.

4-jadval

**Yarim quruq presslash usuli bilan tayyorlangan va ko'pchitilgan vermikulit qo'shilgan keramik mahsulotlarning fizik-mexanik xususiyatlari**

Vermikulitning paydo bo'lishi	Fraksiya	Namuna raqami	VVT qo'shimchasi miqdori, %	Zichligi kg/m <sup>3</sup>	Siqilishga chidamlilik, MPa	Massa bo'yicha suv yutilishi, %
Uzbekiston, Tebinbuloq koni	BBT	1	30	1800	30	25
Xitoy	Gold DFL Fine	2	10	1880	48,9	15,4
		3	30	1610	20,7	24,3

Keramik kukunni presslashning boshlanishi zarrachalarning bir-biriga nisbatan siljishi va yaqinlashishi hisobiga zichlashish bilan kuzatiladi. Bu bosqichda keramik kukun va ko'pchitilgan vermikulit zarrachalarining tuzilishi hajm bo'yicha anizotrop bo'ladi. Shu bilan birga, tizimdan havoning qisman chiqib ketishi ro'y beradi. Shuni e'tiborga olish lozimki, vermikulit zarrachalarining yuqori adsorbsiyalash qobiliyati qorishtiradigan suvning ortiqcha sarflanishiga olib kelishi va namunadan yukni olib tashlanganda elastik kengayishni kuchaytirishi mumkin.

Zichlanishning ikkinchi bosqichi zarrachalarning plastik qaytmas deformatsiyasi bilan xarakterlanadi. Bu jarayonda zarrachalar orasidagi kontakt yuzasi kengayadi. Shu bilan bir vaqtda, har bir elementar zarraning zichlanishi uning chuqur qatlamlaridagi namlikning zarra kontakt yuzasiga siqib chiqarilishi bilan kuzatiladi. Bu ikki omil zarrachalar orasidagi bog'lanishning kuchayishiga sabab bo'ladi. Suv, o'z tarkibidagi gilli kolloidlar bilan birgalikda, presslangan ko'pchitilgan vermikulit zarrachalarini sementlaydi. Kontakt yuzasi ortishi natijasida bunday sementlashning samaradorligi ham oshadi. Ushbu bosqichda me'yorida suv qo'shishga rioya qilish alohida ahamiyat kasb etadi.

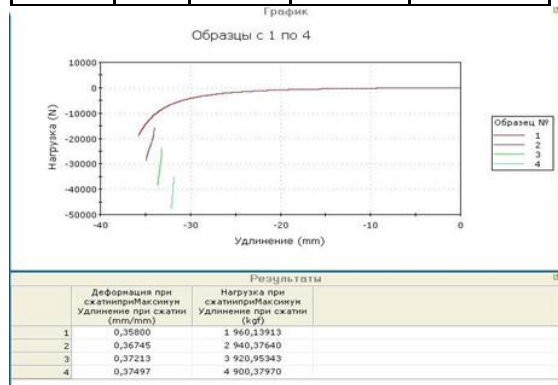
Kuzatilgan siqilish diagrammalarining xususiyati mo'rt materiallarning xususiyatiga o'xshash bo'ladi, bu vermikulit zarralarining presslash hajmi ichida tartibsiz joylashganligidan dalolat beradi (5-jadval va 5-9-rasmlar).

5-jadval

**Turli tarkibdagi keramik kukunlarni yuklash mexanizmi**

Tarkib (namuna raqami)	Yuklash tartibi	Presslash bosimi, MPa	Siqilishdagi maksimal yuklama, kg kuch	Siqilishdagi maksimal deformatsiya, mm/mm
Nazorat 1	1	10	1960	0,35800
	2	15	2940	0,36745
	3	20	3920	0,37213
	4	25	4900	0,37497
2	1	10	1960	0,58396
	2	15	2940	0,59321
	3	20	3920	0,59728
	4	25	4900	0,60418
3	1	10	1960	0,94329
	2	15	2940	0,95192
	3	20	3920	0,96110

4	4	25	4900	0,96964
	1	10	1960	0,35800
	2	15	2940	0,36745
	3	20	3920	0,37213
5	4	25	4900	0,37497
	1	10	1960	0,67075
	2	15	2940	0,67662
	3	20	3920	0,68212
	4	25	4900	0,68812



Siqilish, mm

5-rasm. Nazorat keramik kukunini yuklash sxemasi (vermikulit qo'shimchasisiz)

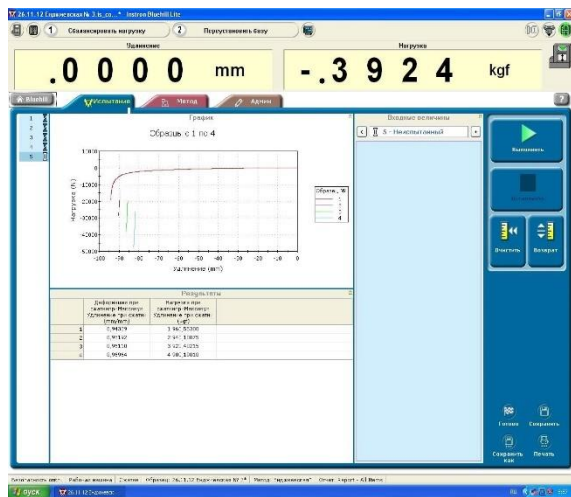


Siqilish, mm

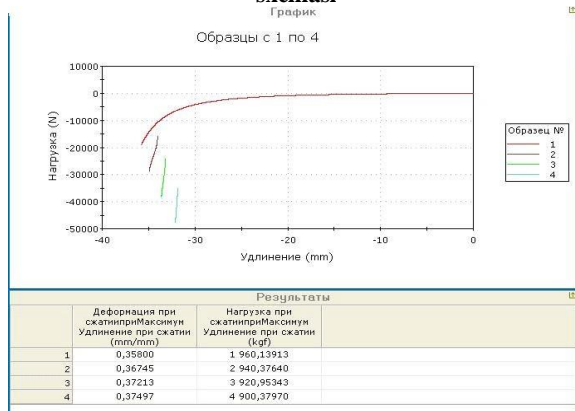
6-rasm. 10% VVT qo'shilgan keramik kukunni yuklash sxemasi



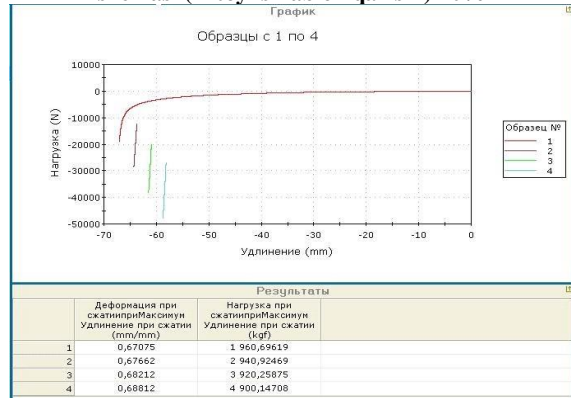




Сиқилиш, mm  
7-рasm. 30% VVT qo'shilgan keramik kukun yuklanish sxemasi



Сиқилиш, mm  
8-рasm. PV qo'shimchali keramik kukunni yuklash sxemasi (Xitoy ishlab chiqarishi) 10%



9-рasm. 30% PM qo'shimchali keramik kukunni yuklash sxemasi (Xitoy)

Zichlanishning so'nggi bosqichi zarrachalarning mo'rt sinishi bilan kuzatiladi, bunda presslangan mahsulot kontakt yuzasining yanada kuchli rivojlanishi natijasida eng yuqori zichlik va eng katta birikishga erishadi. Mo'rt deformatsiyalarni amalga oshirish uchun juda yuqori bosim talab etiladi, ammo ko'pchilik keramik buyumlarni yarim quruq presslash jarayonida bunday bosimga amalga erishib bo'lmaydi [2].

Presslash kuchi ta'siri to'xtaganidan va buyum qolipdan chiqarilganidan so'ng uning elastik kengayishi

ro'y beradi. Bu kengayish ba'zi hollarda 8 % gacha yetishi mumkin, ayniqsa vermikulit qo'shilgan keramik kukunda qorishma suvi me'yoridan ortiq ishlatilgan bo'lsa. Elastik kengayish tufayli maksimal zichlikdagi presslangan mahsulotlarni olish imkonsiz bo'ladi va bu buyumlarda boshqa nuqsonlar paydo bo'lishiga sabab bo'ladi.

Elastik kengayishning sabablari qattiq zarrachalarning qaytuvchi deformatsiyalari, shuningdek, vermikulit zarrachalarining kontakt yuzalari va g'ovaklararo bo'shliqlaridan kattaroq g'ovaklarga presslash paytida siqib chiqarilgan namlik ta'sirida kontaktlarning adsorbsion ravishda ajralishi bo'lishi mumkin. Presslashda suvning optimal miqdorda ishlatilishi natijasida vermikulit qo'shilgan tayyor mahsulotning mustahkamligi sezilarli darajada pasaymaydi.

### 3. Xulosa

Shunday qilib, ko'pchitilgan vermikulit qo'shilgan keramik buyumlarni tayyorlashda plastik qoliqlash va yarim quruq presslash usullaridan foydalanish mumkin. Buyumlarni yarim quruq presslash usulida ishlab chiqarish ko'proq maqsadga muvofiqdir, chunki bu usul orqali, ayniqsa loyning dastlabki kimyoviy tarkibini hisobga olgan holda, yuqori samaradorlikka ega bo'lgan mahsulotlar olish imkoniyati mavjud.. Suv shimish darajasini hisobga olgan holda, ushbu mahsulotlarni asosan devor qurilish materiallari sifatida ishlatish yoki suv shimishni kamaytirish bo'yicha texnologik choralar ko'rish (shixtaga plastifikatsiyalovchi qo'shimchalar qo'shish va boshqalar) tavsiya etiladi.

Yarim quruq presslash usuli bilan mahsulotlar olishda keramik buyumlarning samaradorligi ham oshadi. Biroq, presslash kuchi to'xtatilgandan so'ng elastik kengayish va qaytuvchi deformatsiyalar ehtimoli tufayli, ko'pchitilgan vermikulit donalarining ehtiyojini deyarli hisobga olmagan holda, aralashtirish suvi miqdorini rostdash va past namlikdagi press-kukunlarni qo'llash zarur bo'ladi. Bu hodisa shishgan vermikulit donalari tomonidan adsorbsiyalangan namlik tufayli kontaktlarning ajralishi bilan bog'liq. Ushbu xususiyatni hisobga olgan holda, mahsulot qolipdan chiqarilgandan so'ng, unda nuqsonlar paydo bo'lmaydi. Presslash jarayonida esa siqib chiqarilgan namlik vermikulit plastinkalari orasidagi bo'shliqni to'ldiradi.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Vasilovskaya N.G. Teoreticheskie aspekti protsessa vspuchivaniya vermikulita Tatarskogo mestorojdeniya / N.G. Vasilovskaya, I.G. Yendjievskaya, O.V. Slakova, G.P. Baranova // SFU. Ser.: Texnika i texnologiya. - 2012.
- [2] Vasilovskaya N.G. Issledovanie svoystv teploizolyatsionnix materialov na osnove vspuchennogo vermikulita Tatarskogo mestorojdeniya / N.G. Vasilovskaya, I.G. Yendjievskaya, T.K. Staver. - 2011.
- [3] Obzor rinka vermikulita v SNG / Issledovatel'skaya gruppa InfoMayn; Obedinenie nezavisimix ekspertov v oblasti mineralnix resursov, metallurgii i ximicheskoy promishlennosti. - M., 2008.
- [4] Popil'skiy R.Ya., Kandrashov F.V. Pressovanie keramicheskix poroshkov. - M. : Metallurgiya, 1968.

[5] Vakalova T.V. Glini. Struktura, svoystva i metodi issledovaniya / T.A. Xabas, V.N. Pogrebenkov, V.I. Verechagin. - Izd. TPU. - S. 249.

## Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Auezbaev Raman** Toshkent davlat transport universiteti  
"Bino va sanoat inshootlari qurilishi"  
kafedrasi doktoranti,

**Muratbay uli** e-mail:  
[ramanawezbaev400@gmail.com](mailto:ramanawezbaev400@gmail.com)  
Tel.: +998999577144  
<https://orcid.org/0009-0002-5170-9194>

---

**Lepesbaeva Paruaz** Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti  
**Dauletbay kizi** "Shaxar qurilishi va xo'jaligi"  
kafedrasi oqutuvchisi  
e-mail: [paruaz9598@gmail.com](mailto:paruaz9598@gmail.com)  
Tel.: +998999577155  
<https://orcid.org/0009-0006-3316-5399>



## Study of polymer compositions for pipe washing on the hydraulic transport of dispersed systems

M.A. Musazhonov<sup>1</sup>, A. Ibadullaev<sup>1</sup>, U.R. Chorshanbiev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:**

This article analyzed the surfactants used to wash hydrotransport pipes of hosi divisor dispersing systems in the enrichment process of the mining industry. During the research work, the problem of creating polymer compositions that prevent blockage of solid particles in the flow process and the scientific justification of their effect on pressure was considered. New materials have been developed for hydrotransport systems with the aim of improving the efficiency of polymer compositions, ensuring long-term operation of the system and eliminating accumulations in pipes. The study explores the mechanical properties of polymer and composite materials, their effects on pressure and washing processes, as well as the strength and durability of materials to long-term performance. It helps to increase the performance of polymer compositions, hydrotransport pipes, accelerate washing processes and reduce energy consumption. The scientific basis of the study is carried out by analyzing the physicochemical properties of polymer compositions and external factors affecting them. New polymer compositions make it possible to increase the hydraulic and economic efficiency of hydrotransport systems, to extend their service life.

**Keywords:**

Polymer composites, hydrotransport pipes, dispersed systems, flushing processes, pressure effects, physico-chemical properties, innovations in materials, efficiency improvement, pipe cleaning, strength of materials, hydrotransport systems

## Dispers sistemalarining gidrotransportida quvurlarni yuvish uchun polimer kompozitsiyalarni o'rganish

Musajonov M.A.<sup>1</sup>, Ibadullayev A.<sup>1</sup>, Chorshanbiyev U.R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:**

Bu maqolada tog'-kon sanoatining boyitish jarayonida hosi bo'luvchi dispers sistemalarining gidrotransport quvurlarini yuvish uchun qo'llanilgan sirt faol moddalar tahlil qilindi. Tadqiqot ishi davomida oqim jarayonida qattiq zarrachalarning tiqilib qolishining oldini oluvchi polimer kompozitsiyalarini yaratish va ularning bosimga ta'sirini ilmiy asoslash muammosi ko'rib chiqildi. Gidrotransport tizimlari uchun polimer kompozitsiyalarining samaradorligini oshirish, tizimning uzoq muddatli ishlashini ta'minlash va quvurlardagi to'planmalarni bartaraf etish maqsadida yangi materiallar ishlab chiqildi. Tadqiqotda polimer va kompozit materiallarning mexanik xususiyatlari, ularning bosim va yuvish jarayonlariga ta'siri, shuningdek, materiallarning mustahkamligi va uzun muddatli ishlashga chidamliligi o'rganiladi. Bu polimer kompozitsiyalari, gidrotransport quvurlarining ishlash samaradorligini oshirishga, yuvish jarayonlarini tezlashtirishga va energetik sarfni kamaytirishga yordam beradi. Tadqiqotning ilmiy asosi, polimer kompozitsiyalarining fizik-kimyoviy xususiyatlari va ularga ta'sir etuvchi tashqi omillarni tahlil qilish orqali olib boriladi. Yangi polimer kompozitsiyalari gidrotransport tizimlarining gidravlik va iqtisodiy samaradorligini oshirish, ularning ishlash muddatini uzaytirish imkonini beradi.

**Kalit so'zlar:**

Polimer kompozitsiyalari, gidrotransport quvurlari, dispers tizimlar, yuvish jarayonlari, bosim ta'siri, fizik-kimyoviy xususiyatlar, materiallar innovatsiyasi, samaradorlikni oshirish, quvurlarni tozalash, materiallarning mustahkamligi, gidrotransport tizimlari

### 1. Kirish

Atrofimizdagi dunyo, shu jumladan bizning o'zimiz ham, dispers sistemalardan tashkil topgan. Dispers sistemalar tabiatda keng tarqalgan bo'lib, ular ko'plab sanoat va ilmiy sohalar, shuningdek kundalik hayotda ham faol qo'llaniladi. Tabiatda uchraydigan ko'plab moddalar, masalan, tuproq gil, tabiiy suv, oziq-ovqat mahsulotlari, rezina, bo'yoqlar va boshqa ko'plab materiallar dispers sistemalarining misollaridir. Shuning uchun, bunday sistemalarining xususiyatlarini o'rganish ilmiy sohalar, xususan, "Kolloid kimyo" fanining asosi hisoblanadi. Ushbu soha, hozirgi kunda ko'proq "Sirt hodisalari va dispers

sistemalar" deb atalmoqda. Kolloid so'zi grekcha "kola" ya'ni "kley" so'zidan olingan, ammo bugungi kunda bu atama faqat tarixiy ma'no kasb etadi. Kolloid kimyo asosan dispers sistemalarining tuzilishi, xususiyatlari, hamda ularning o'zaro ta'sirlarini o'rganishga qaratilgan bo'lib, bu sistemalarining fizik-kimyoviy jarayonlarini chuqur tahlil qiladi. Kolloidlar va dispers sistemalarining ilmiy rivojlanishida ko'plab mashhur olimlar o'z hissalarini qo'shgan. Masalan, Thomas Graham (1805–1869) kolloidlarni va eroziya tizimlarini ta'riflab, ularni kichik zarrachali eritmalar va katta zarrachali kolloidlar sifatida ajratgan. Shuningdek, Michael Faraday (1791–1867) dispers sistemalarining fizik xususiyatlari bo'yicha muhim ishlar

olib borgan, u elektromagnit maydonlarning kolloid zarrachalariga ta'sirini o'rgangan va Faraday effektini kashf etgan. Friedrich Ludwig (1829–1901) esa, kolloidlarning barqarorligini ta'minlash uchun kimyoviy moddalarni qo'llash orqali sirt hodisalarini o'rganib, stabilizatsiya jarayonlariga doir yirik tadqiqotlar olib borgan.

**Adabiyotlar tahlili.** O'zbekistonda, bu sohaning rivojlanishida K.S. Axmedov, X.U. Usmonov, M.A. Asqarov va boshqa olimlarning tadqiqotlari alohida o'rin tutadi. Hidrotransport tizimlari energiya sarfi, texnologik samaradorlik va uzoq muddatli ishlash nuqtai nazaridan muhim ahamiyatga ega. Quvurlarda paydo bo'ladigan to'planmalar va ularning samarali tozalanishi tizimning ishlashiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, gidrotransport tizimlari uchun samarali yuvish materiallarini ishlab chiqish, tizimning ishlash samaradorligini oshirish va energetik sarfini kamaytirish masalasi dolzarb hisoblanadi. Bunday materiallar orasida polimer kompozitsiyalarining ahamiyati katta, chunki ular o'zining mexanik, kimyoviy va fizik xususiyatlari bilan yuvish jarayonlarini samarali amalga oshirish imkonini beradi. Dispers sistemalar, ayniqsa, qattiq zarrachalar va suyuqliklar orasidagi o'zaro ta'sirlar, ho'llanish, adsorbsiya, desorbsiyalash, sedimentatsiya va koagulyatsiya kabi jarayonlar bilan bog'liq. O'rta Osiyo daryolarida loyqa suv oqadi, ularni tozalash uchun koagulyantlar qo'llanadi. Shu bilan birga, neft sanoatida ham parmlash suspenziyalaridan foydalanish jarayonlarni soddalashtiradi.

Gidrotransport quvurlarini yuvish uchun yangi polimer kompozitsiyalarini yaratish va ularning bosimga ta'sirini ilmiy asoslash muammosi ko'rib chiqilsa, tadqiqotda polimer kompozitsiyalarining mexanik xususiyatlari, bosimga ta'siri, yuvish jarayonlarining samaradorligi va materiallarning mustahkamligi o'rganildi. Yangi polimer kompozitsiyalari, tizimlarning uzoq muddatli ishlashini ta'minlash, yuvish jarayonlarini tezlashtirish va energetik sarfini kamaytirish imkonini beradi. Tahlil qilish uchun polimerlarning fizik-kimyoviy xususiyatlari va tashqi omillarni hisobga olgan holda eksperimentlar o'tkaziladi. Bu masalalar, ayniqsa, gidrotransport tizimlarining uzoq muddatli va samarali ishlashini ta'minlashda muhimdir. Odatda, bunday tadqiqotlarda quyidagi asosiy formulalar va yondashuvlar qo'llaniladi.

## 2. Tadqiqot metodikasi

Tadqiqot obyekti sifatida tog'-kon sanoatida rudalarni boyitish fabrikalarining gidrotransport tizimlari olingan. Tadqiqot ishlarini bajarishda umum qabul qilingan standart usullar va hisoblash usullaridan foydalanildi. Yuvish jarayonining samaradorligini hisoblash formulasi – yuvish jarayonining samaradorligi ko'pincha tozalash samaradorligi ( $\eta$ ) sifatida ifodalanadi va quyidagi formulaga asoslanadi:

$$\eta = ((C_{old} - C_{new}) / C_{old}) \times 100$$

$C_{old}$  – tozalashdan oldin ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasi.

$C_{new}$  – tozalashdan keyin ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasi.

Bu formulada yuvishning samaradorligi ( $\eta$ ) foizda beriladi.

Bosimga ta'sirni tahlil qilish formulasi - bosimning ta'sirini hisoblashda, polimer kompozitsiyalarining mexanik xususiyatlari, shu jumladan, elastiklik moduli ( $E$ ) va

materialning chidamliligini ( $\sigma$ ) hisobga olish muhim bo'ladi. Bosimga ta'sir formulasi:

$$\sigma = F/A$$

$\sigma$  – materialga ta'sir qilayotgan bosim.

$F$  – materialga ta'sir qilayotgan kuch.

$A$  – materialning kesma yuzasi.

Bundan tashqari, gidrotransport quvurlarida bosimning qanday ta'sir qilishi va yuvish jarayonidagi materialning elastik xususiyatlarini tahlil qilishda quyidagi formulalar ishlatiladi:

$$\epsilon = \Delta L / L_0$$

$\epsilon$  – deformatsiya (deformatsiyaning nisbiy o'zgarishi).

$\Delta L$  – uzunlikning o'zgarishi.

$L_0$  – dastlabki uzunlik.

Energiya sarfi va samaradorlikni hisoblash - yangi polimer kompozitsiyalarining energiya samaradorligini baholash uchun quyidagi formula ishlatiladi:

$$E = P \times t$$

$E$  – energiya sarfi (Joules).

$P$  – quvvat (Watt).

$t$  – vaqt (soat yoki sekund).

Bu formula yuvish jarayonining umumiy energiya sarfini hisoblashda ishlatiladi. Bir gidrotransport tizimida yuvish jarayoni amalga oshirilmoqda. Tozalashdan oldin ifloslantiruvchi moddalar konsentratsiyasi 50 mg/L, tozalashdan keyin esa 10 mg/L ga kamaygan. Bu jarayonning samaradorligini hisoblashni va unga bog'liq bosimni tahlil qilamiz. va agar quvurlarda 100 N kuch bilan 20 cm<sup>2</sup> yuzaga ta'sir qilayotgan bosim mavjud bo'lsa, va yuvish jarayonida 5 kVt quvvat sarflansa, umumiy energiya sarfini hisoblashni xohlaymiz. Yuqoridagi formulalar yordamida ishlab chiqilsa, yuvish samaradorligi 80% ni tashkil etadi, quvurlarga ta'sir qilayotgan bosim 50 kPa ni, yuvish jarayonida umumiy energiya sarfi 18 MJ (megajoul) bo'ladi. Agar quvurning ichki radiusi 0.5 m, devorining qalinligi 10 mm, va gidrosmes bosimi 2 MPa bo'lsa, quvur devorida hosil bo'ladigan ichki kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

$$\sigma = (2 \times 10^6 \times 0.5) / 0.01 = 100 \times 10^6 = 100 \text{ MPa}$$

Agar quvur materiali polimer-kompozit bo'lsa va uning elastiklik moduliga ega bo'lsa, deformatsiya quyidagicha bo'ladi:

$$\epsilon = \sigma / E$$

Bu yerda ko'rishimiz mumkinki:

$$E = 2 \times 10^9 \text{ Pa (polimer-kompozit material uchun)}$$

$$\epsilon = 100 \times 10^6 / 2 \times 10^9 = 0.05$$

Bu holda, quvur uzunligi 5% ga cho'zilishi mumkin. Agar bosim ortib ketsa, deformatsiya haddan tashqari bo'lib, quvur yorilishi yoki shikastlanishi mumkin. Bu olib boriladigan tadqiqot ishlarining bir qismi sifatida misol tariqasida ko'rsatib o'tilgan. Bu ishlarni turli xil jarayonlarda ko'rishimiz mumkin.

## 3. Xulosa

Polimer kompozitsiyalarining mexanik xususiyatlari va ularning bosimga nisbatan chidamliligi muhim omil hisoblanadi. Tadqiqotda polimer va kompozit materiallarning yuvish jarayonlari vaqtida gidrotransport tizimlarida paydo bo'ladigan bosimlarga qanday ta'sir qilishi tahlil qilinadi va eksperimentlar natijasida polimer kompozitsiyalarining yuqori mexanik mustahkamligi, bosim va o'zgaruvchan sharoitlarga chidamliligi, shuningdek, quvurlarni yuvishda ishlatilganda to'planmalarni samarali bartaraf etishi yoki boshqa ko'rsatkichlar ko'ramiz. Polimer



kompozitsiyalari yordamida gidrotransport tizimlarining ishlash samaradorligini oshirish va yuvish jarayonlarini tezlashtirish mumkin. Tadqiqotda yangi materiallarning energiya sarfi nuqtai nazaridan samaradorligi ham tahlil qilindi. Yangi polimer materiallar yordamida, quvurlarda

hosil bo'ladigan to'planmalarni kamaytirish, quvurlarning ichki yuzasini yaxshilash va yuvish jarayonlarini qisqartirish imkoniyati mavjud bo'ldi. Bu nafaqat tizim samaradorligini oshiradi, balki energetik sarfni sezilarli darajada kamaytiradi (1-jadval).

1-jadval

Gidrotransport tizimlarida polimer kompozitsiyalarining samaradorligi va energiya sarfiga ta'siri

T/r	Polimer kompozitsiyasi	Yuvish samaradorligi (%)	To'planmalarni kamaytirish	Energiya Sarfi (MJ)	Quvur ichki yuzasi	Tizim samaradorligini oshirish
1	Polietilen (PE) + Elastomerlar	75%	Quvurlar ichidagi shlaklarning kamayishi	15 MJ	Yaxshilandi	Yuvish jarayonlari tezlashtiriladi, energetik sarf kamayadi
2	Polipropilen (PP) + Karbon tolasi	80%	Kimyoviy to'planmalarni kamaytiradi	18 MJ	Yaxshilandi	Yangi materiallar tizimning ishlash muddatini uzaytiradi
3	Polivinilxlorid (PVC) + Silikon	90%	To'planmalarni sezilarli darajada kamaytiradi	10 MJ	Yaxshilandi	Yuvish samaradorligi oshadi, energiya sarfi kamayadi
4	Epoksi + Polietilen (PE)	85%	Suvning yuqori oqim tezligi tufayli to'planmalar kamayadi	12 MJ	Yaxshilandi	Quvurlarni tez yuvish, energetik sarf 30% ga kamayadi
5	Poliuretan + Elastomerlar	95%	To'planmalarni to'liq olib tashlash	20 MJ	Yaxshilandi	Tizim samaradorligi 25% ga oshadi, energiya sarfi kamayadi

Bu jadval gidrotransport tizimlarida polimer kompozitsiyalarining qanday ishlashini va ularning tizim samaradorligini oshirishdagi rolini va albatta polimer kompozitsiyalarining mustahkamligini ifodalaydi. Polimer kompozitsiyalarining mexanik mustahkamligi gidrotransport tizimlarida yuqori bosim va mexanik ta'sirlarga qarshi chidamlilikni ta'minlaydi. Masalan, Polietilen (PE) + Elastomerlar kompozitsiyasida mexanik kuchlanishga chidamlilik yuqori bo'lib, elastiklik moduli sezilarli darajada oshgan. Bu material quvurlarda yuzaga keladigan kuchlarni muvozanatlashtirib, tizimning uzluksiz ishlashini ta'minlaydi. Polipropilen (PP) + Karbon tolasi kompozitsiyasi kimyoviy to'planmalarni kamaytirishda samarali bo'lib, uning kimyoviy barqarorligi yuqori. Bu material agressiv kimyoviy moddalar bilan ta'sirda o'zining mexanik va kimyoviy xususiyatlarini saqlab qoladi. Shu bilan birga, Polivinilxlorid (PVC) + Silikon kompozitsiyasi agressiv kislotalar va asoslar bilan reaksiyaga kirishmaslik xususiyatiga ega. Polivinilxlorid (PVC) + Silikon kompozitsiyasi haroratga chidamli bo'lib, yuqori haroratlarda ishlash uchun moslashtirilgan. Bu materiallar yuqori haroratlarda o'zining mexanik va kimyoviy xususiyatlarini saqlab qoladi. Polimer kompozitsiyalarining haroratga chidamliligi ularning energiya sarfini kamaytirishga yordam beradi, chunki tizim tezda ishlashga kirishadi. Epoksi + Polietilen (PE) kompozitsiyasi tashqi zarbalar va mexanik ta'sirlarga qarshi yuqori chidamlilikka ega. Bu material, ayniqsa, yuqori mexanik kuchlarga nisbatan mustahkam bo'lib, quvurlarni himoya qiladi va tizim samaradorligini ta'minlaydi. Poliuretan + Elastomerlar kompozitsiyasi uzoq muddatli ishlashni ta'minlashda samarali. Bu polimer kompozitsiyasi degradatsiyaga qarshi chidamli bo'lib, tizimning ishlash muddati davomida

materiallarning sifatini saqlaydi. Polimer kompozitsiyalarining mustahkamligi gidrotransport tizimlarining samaradorligini ta'minlashda muhim rol o'ynaydi. Mexanik kuchlanishga chidamlilik, kimyoviy barqarorlik, haroratga chidamlilik va zarba kuchlariga qarshilik kabi xususiyatlar polimer materiallarining uzoq muddatli va samarali ishlashini ta'minlaydi. Jadvalda keltirilgan misollar, turli polimer kompozitsiyalarining tizimning ishlash samaradorligi, yuvish jarayonlari va energiya sarfi nuqtai nazaridan qanday ta'sir ko'rsatishini ko'rsatadi. Bu materiallar nafaqat tizim samaradorligini oshiradi, balki energiya va resurslarni tejashga ham yordam beradi.

Natijalariga ko'ra, yangi yaratilgan polimer kompozitsiyalari gidrotransport tizimlarining ishlash samaradorligini oshirishga yordam beradi. Bu materiallar quvurlarda to'planmalarni bartaraf etishda, yuvish jarayonlarini tezlashtirishda va tizimning energetik samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Polimer kompozitsiyalarining fizik-kimyoviy xususiyatlari va tashqi omillarga nisbatan chidamliligi, ularning uzoq muddatli ishlashini ta'minlaydi va gidrotransport tizimlarining ishlash muddatini uzaytiradi. Shu asosda, yangi materiallar gidrotransport tizimlarini optimallashtirish uchun samarali yechim sifatida taklif etiladi.

## Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] Мусахонов, М. А. У., & Умарова, Д. З. (2018). Инженерные коммуникации зданий. Вопросы науки и образования, (8 (20)), 30-31.





[2] Usmanova, N. A., & ugli Musajonov, M. A. (2023). Classification of energy efficient buildings. Golden brain, 1(1), 228-230.

[3] Musajonov, m. A., & raxmonberdiyeva, f. A. (2023). Suv ta'minoti tizimida maxalliy qarshiliklarni va quvurlardagi bosim yo'qolishini o'tish sohalari bo'yicha aniqlashning matematik modelashtirish: suv ta'minoti tizimida maxalliy qarshiliklarni va quvurlardagi bosim yo'qolishini o'tish sohalari bo'yicha aniqlashning matematik modelashtirish.

[4] Мусажонов, М., & Жураев, А. (2023). Рекомендации и требования к проектированию тоннелей в Узбекистане. Тенденции и перспективы развития городов, 1(1), 237-239.

[5] Chorshanbiev, U., Ibadullaev, A., Babaev, A., & Kaxarov, B. (2023). Study of the motion of modified solid particles in hydratransport systems. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 03027). EDP Sciences.

[6] Akhmadjon, I. (2021). Prospects and development of research of composite elastomer materials. Журнал Сибирского федерального университета. Химия, 14(4), 464-476.

[7] Abobakirova Z.A., & Mirzayeva Z.A. (2022, April). Peculiarities of operation of buildings in seismic areas. International conferences on learning and teaching (Vol. 1, No. 6, pp. 147-151).

[8] Goncharova, N., Abobakirova, Z., Davlyatov, S., Umarov, S., & Mukhamedzanov, A. (2023). Polymer reagent in construction practice. In E3S Web of Conferences (Vol. 365, p. 02024). EDP Sciences.

[9] Y Karimov, I Musaev, S Mirzababayeva, Z Abobakirova, S Umarov, Land use and land cover change dynamics of Uzbekistan: a review, E3S Web of Conferences 421, 03007.

## Mualliflar ma'lumotlar

to'g'risida

<b>Musajonov</b>	Toshkent Davlat Transport
<b>Muxammadrasul Alisher o'g'li</b>	Unversteti, tayanch doktoranti
	Tel: 998911102590. Email: <a href="mailto:musajonov.muhammadrasul@ferpi.uz">musajonov.muhammadrasul@ferpi.uz</a>
<b>Ibadullayev Ahmadjon</b>	Toshkent Davlat Transport Universiteti
<b>Chorshanbiyev Umar Ravshan o'g'li</b>	Toshkent Davlat Transport Universiteti



## The use of energy-efficient and environmentally friendly materials in modern construction

N.V. Drobchenko<sup>1</sup> <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering named after Mirzo Ulugbek, Samarkand, Uzbekistan

**Abstract:** The article discusses current trends and innovative approaches in the field of energy-efficient and environmentally friendly materials in construction. Special attention is paid to the analysis of modern technological solutions aimed at reducing energy consumption and the carbon footprint of the construction industry. Key categories of such materials are described, including biocomposite thermal insulation solutions, geopolymer concretes, energy-efficient double-glazed windows, and wood-polymer composites. Their technological features, advantages, and impact on the sustainable development and environmental safety of construction are considered. The introduction of digital technologies and artificial intelligence into the design and production of building materials is discussed, which opens up new opportunities for optimizing production and increasing resource efficiency. The prospects for the further development of these technologies and their impact on the environmental and economic efficiency of the construction industry are analyzed. The presented data confirm the significant potential of modern innovative materials in implementing the concept of sustainable construction and reducing the negative impact on the environment.

**Keywords:** innovation, ecology, technology, construction industry, environment, energy efficiency, technology, materials, sustainability, safety

## Применение энергоэффективных и экологически безопасных материалов в современном строительстве

Дробченко Н.В.<sup>1</sup> <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет имени Мирзо Улугбека, Самарканд, Узбекистан

**Аннотация:** В статье рассматриваются актуальные тенденции и инновационные подходы в области применения энергоэффективных и экологически безопасных материалов в строительстве. Особое внимание уделено анализу современных технологических решений, направленных на снижение энергопотребления и углеродного следа строительной отрасли. Описаны ключевые категории таких материалов, включая биокomпозитные теплоизоляционные решения, геополимерные бетоны, энергоэффективные стеклопакеты и древесно-полимерные композиты. Рассматриваются их технологические особенности, преимущества, а также влияние на устойчивое развитие и экологическую безопасность строительства. Обсуждается внедрение цифровых технологий и искусственного интеллекта в процессы проектирования и производства строительных материалов, что открывает новые возможности для оптимизации производства и повышения эффективности использования ресурсов. Анализируются перспективы дальнейшего развития данных технологий и их влияние на экологическую и экономическую эффективность строительной индустрии. Представленные данные подтверждают значительный потенциал современных инновационных материалов в реализации концепции устойчивого строительства и снижении негативного воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** инновация, экология, технология, строительная отрасль, энергоэффективность, материалы, технологии, устойчивость, окружающая среда, безопасность отношение

### 1. Введение

В условиях стремительного роста городов и увеличения потребления энергоресурсов перед строительной отраслью встаёт задача поиска инновационных решений, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду. Традиционные строительные материалы, такие как

бетон и кирпич, требуют значительных затрат энергии на производство и сопровождаются значительными выбросами углекислого газа [1]. В связи с этим развитие энергоэффективных и экологически безопасных строительных материалов становится приоритетной задачей для строительной индустрии.

Современные технологии позволяют создавать материалы с улучшенными характеристиками, которые не только снижают энергопотребление зданий, но и способствуют повышению их долговечности, комфорта

<sup>a</sup>  <https://orcid.org/0009-0003-3488-481X>

и безопасности. Использование таких материалов играет важную роль в реализации концепции устойчивого строительства, которая предполагает минимизацию негативного воздействия на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла здания - от проектирования до эксплуатации и утилизации [2].

## 2. Методология исследования

**Литературный анализ.** Современное строительство стремится к снижению воздействия на окружающую среду и увеличению энергоэффективности зданий. Это достигается за счёт применения инновационных строительных материалов, которые позволяют сокращать энергопотребление, уменьшать выбросы CO<sub>2</sub> и обеспечивать комфортные условия проживания.

Преимущества использования экологически безопасных и энергоэффективных материалов таковы:

### 1. Экономят энергию:

- снижение затрат на отопление и кондиционирование за счёт улучшенной теплоизоляции зданий;

- уменьшение потребления электричества при использовании энергоэффективных осветительных и климатических систем;

### 2. Уменьшают углеродный след:

- снижение выбросов CO<sub>2</sub> за счёт уменьшения потребности в ископаемом топливе;

- использование возобновляемых и переработанных материалов, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду.

### 3. Безопасны для здоровья людей:

- отсутствие токсичных выделений и вредных химических соединений, что снижает риск аллергий и заболеваний;

- применение натуральных материалов, способствующих улучшению микроклимата в помещениях.

### 4. Долговечны и устойчивы к внешним факторам:

- высокая стойкость к влаге, плесени и насекомым;
- продолжительный срок эксплуатации без потери эксплуатационных характеристик;
- снижение затрат на ремонт и замену конструкций благодаря прочности и устойчивости материалов.

Рассмотрю основные виды энергоэффективных и экологически безопасных материалов:

### 1. Биокomпозитные теплоизоляционные материалы.

Биокomпозитные утеплители представляют собой природные и переработанные материалы, обладающие высокой теплоизоляционной способностью и низким углеродным следом. Среди наиболее распространённых биокomпозитов можно выделить (Табл. 1):

- Льняные и конопляные утеплители. Эти материалы характеризуются высокой паропроницаемостью, устойчивостью к плесени и грибкам, а также способностью поддерживать комфортный микроклимат в помещении. Они не содержат вредных химических веществ и являются полностью биоразлагаемыми [3].

- Овечья шерсть. Отличается отличными теплоизоляционными свойствами, способностью впитывать и отдавать влагу без потери изоляционных характеристик. Кроме того, натуральный ланолин, содержащийся в шерсти, защищает её от насекомых и микроорганизмов.

Таблица 1

Сравнительная таблица льняных и конопляных утеплителей

Характеристика	Льняной утеплитель	Конопляный утеплитель
Сырьё	Льняное волокно	Конопляное волокно
Экологичность	Высокая, без химии	Высокая, без химии
Паропроницаемость	Высокая	Высокая
Устойчивость к плесени и грибкам	Высокая	Высокая
Способность регулировать микроклимат (влагу и температуру)	Хорошая, впитывает и отдаёт влагу, создавая комфортные условия	Отличная, лучше удерживает тепло зимой и сохраняет прохладу летом
Теплопроводность (Вт/м·К)	0,037–0,045	0,038–0,042
Звукоизоляция	Хорошая	Очень хорошая
Плотность (кг/м³)	25–45	30–50
Прочность и долговечность	Средняя	Высокая

- Древесные волокна и пробковые панели. Эти материалы обладают высокой плотностью и теплоёмкостью, что позволяет эффективно накапливать и удерживать тепло. Пробка также является отличным звукоизолятором и устойчива к воздействию влаги [2].

Применение биокomпозитных утеплителей позволяет существенно снизить энергопотребление зданий, уменьшить воздействие на окружающую среду и создать более здоровые условия проживания.

2. Геополлимерные бетоны. Геополлимерные бетоны являются альтернативой традиционным цементным смесям и обладают рядом преимуществ:

- Экологичность. Производство геополлимерного бетона требует в 40-80% меньше выбросов CO<sub>2</sub> по сравнению с обычным цементом, так как не включает процесс обжига клинкера. Согласно исследованиям, производство геополлимерного цемента на основе различных материалов позволяет значительно снизить выбросы углекислого газа (CO<sub>2</sub>) [4] по сравнению с традиционным портландцементом. Например: при



использовании каолина в качестве сырья выбросы  $\text{CO}_2$  могут быть уменьшены примерно на 80% [4]. Применение шлака в производстве геополимерного цемента приводит к снижению выбросов  $\text{CO}_2$  на 70% [4]. Использование геополимерных технологий в целом может сократить выбросы  $\text{CO}_2$  до 90% за счёт отказа от обжига клинкера и применения промышленных побочных продуктов [5]. Эти данные подтверждают, что геополимерный бетон является более экологически чистой альтернативой традиционному бетону на основе портландцемента.

- Высокая прочность и долговечность. Геополимерные материалы демонстрируют улучшенные механические характеристики, такие как устойчивость к истиранию, сжатию и растяжению.

- Устойчивость к агрессивным средам. Благодаря своей химической структуре геополимерные бетоны устойчивы к кислотам, сульфатам и другим агрессивным веществам, что делает их идеальными для использования в промышленном и инфраструктурном строительстве [1].

- Тепло- и огнестойкость. Геополимерные материалы обладают высокой термостойкостью, выдерживая температуры до  $1000^\circ\text{C}$ , что делает их отличным выбором для огнеупорных конструкций [6].

Внедрение геополимерных бетонов в строительство позволит сократить углеродный след отрасли и повысить долговечность возводимых зданий и сооружений.

3. *Энергоэффективные стеклопакеты.* Современные стеклопакеты позволяют значительно снизить теплопотери и повысить энергоэффективность зданий. Их основные особенности:

- Низкоэмиссионные (Low-E) покрытия. Эти покрытия отражают инфракрасное излучение, предотвращая потери тепла зимой и снижая нагрев помещения летом [7].

- Использование инертных газов. Заполнение межстекольного пространства аргоном или криптоном снижает теплопроводность и увеличивает теплоизоляционные характеристики стеклопакета.

- Многослойные конструкции. Двух- и трёхкамерные стеклопакеты обеспечивают лучшую звуко- и теплоизоляцию по сравнению с обычными однослойными окнами [8].

- Селективные покрытия. Они позволяют регулировать поступление солнечного света и тепла в помещение, уменьшая необходимость в кондиционировании.

- Самоочищающиеся стекла. Нано-технологические покрытия позволяют стеклу очищаться под воздействием солнечного света и дождя, снижая потребность в чистке окон и уходе за ними.

Применение различных энергоэффективных стеклопакетов позволяет значительно снизить расходы на отопление и кондиционирование, повышая комфорт

проживания и уменьшая воздействие на окружающую среду.

4. *Древесно-полимерные композиты (ДПК)* [9] ДПК представляют собой сочетание древесных волокон и полимеров, что обеспечивает им высокую прочность, долговечность и устойчивость к внешним воздействиям. Основные характеристики и преимущества ДПК:

- Экологичность. В составе используются переработанные материалы, что снижает нагрузку на природные ресурсы.

- Влагостойкость. В отличие от традиционной древесины, ДПК не впитывают влагу и не подвержены гниению.

- Устойчивость к ультрафиолетовому излучению. Материал сохраняет свои характеристики даже при длительном воздействии солнца.

- Малое требование к уходу. ДПК не требуют покраски и дополнительной обработки антисептиками.

- Простота монтажа. Благодаря системе пазов и замков, элементы легко собираются и устанавливаются.

ДПК активно применяются в строительстве фасадов, террас, настилов, ограждений и малых архитектурных форм. Их использование позволяет повысить долговечность конструкций и улучшить эстетические характеристики зданий.

Перспективы развития, будущее строительной отрасли связаны с дальнейшим совершенствованием энергоэффективных и экологически безопасных материалов. В ближайшие десятилетия можно ожидать:

- Развитие биоматериалов. (Табл.2). Использование грибных структур, водорослей и других биологических компонентов в строительных материалах может значительно снизить углеродный след и сделать здания более самовосстанавливающимися.

- Совершенствование технологий переработки. Повышение доли вторичной переработки в производстве стройматериалов позволит минимизировать отходы и снизить нагрузку на окружающую среду.

- Интеграция цифровых технологий. Использование искусственного интеллекта и цифрового моделирования позволит проектировать и тестировать новые материалы с оптимальными характеристиками еще до их реального производства.

- Энергогенерирующие материалы. Развитие технологий, позволяющих строительным материалам не только сохранять, но и генерировать энергию (например, солнечные панели, встроенные в фасады), приведет к созданию полностью автономных зданий.

- Гибридные композиты. Комбинация различных инновационных материалов с целью создания сверхпрочных, легких и многофункциональных конструкций будет способствовать развитию строительства в экстремальных условиях, включая космические проекты.

Таблица 2

## Развитие биоматериалов в строительстве

Биоматериал	Описание	Преимущества	Недостатки	Применение
<b>Грибные структуры (мицелий)</b>	Материал на основе грибного мицелия, выращенного на органическом субстрате, таком как опилки или сельскохозяйственные отходы. После выращивания материал высушивается и становится прочным.	- Биоразлагаемый - Лёгкий и прочный - Отличная тепло- и звукоизоляция	- Уязвим к влаге - Долгое время производства	Изоляционные панели, кирпичи, упаковка
<b>Водоросли (например, спиролина, ламинария)</b>	Используются в биобетоне, панелях, биопластике, а также в фасадных системах для производства кислорода и улавливания углерода.	- Быстро возобновляемый ресурс - Улавливают CO <sub>2</sub> - Повышают прочность материалов	- Требуется специальных условий выращивания - Высокая стоимость	Фасады, биобетон, декоративные элементы
<b>Бактериальный бетон (самовосстанавливающийся бетон)</b>	В состав добавляют бактерии, которые выделяют известь и заполняют трещины в бетоне, увеличивая срок его службы.	- Увеличивает срок службы - Снижает затраты на ремонт - Уменьшает потребность в цементе	- Высокая стоимость - Требуется определённых условий активации	Дорожное покрытие, мосты, фундаменты
<b>Биоасфальт</b>	Альтернатива традиционному асфальту с использованием биосмолы (например, из лигнина), что снижает зависимость от нефтепродуктов.	- Уменьшает использование нефтепродуктов - Более экологичен	- Дорогой - Ограниченная доступность технологий	Дорожное покрытие
<b>Биоразлагаемый пластик</b>	Производится из кукурузного крахмала, грибов или бактерий и может разлагаться естественным путём без вреда для окружающей среды.	- Разлагается в природе - Может быть переработан	- Не всегда достаточно прочный - Стоимость выше традиционного пластика	Отделочные материалы, упаковка, элементы мебели
<b>Древесные композиты с органическими добавками</b>	Смесь древесных волокон с грибами, водорослями, растительными смолами, повышающая прочность и устойчивость материала.	- Устойчив к влаге и плесени - Экологичный и лёгкий	Ограниченная прочность - Требуется доработки технологий	Панели, облицовка, мебель





### 3. Заключение

Применение энергоэффективных и экологически безопасных материалов играет ключевую роль в развитии устойчивого строительства. Развитие данной области способствует сокращению энергозатрат, уменьшению негативного воздействия на окружающую среду и улучшению качества жизни людей. Внедрение инновационных материалов позволит сделать строительство более экологичным и экономически эффективным в долгосрочной перспективе.

### Использованная литература / References

- [1] Вавилова, Т. Я., & Лауф, Е. В. Деятельность немецких организаций-лидеров продвижения энергоэффективного строительства. Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн. С. 22-26, 2016.
- [2] Порфирьев, Б. Н., Дмитриев, А. Н., Владимирова, И. Л., Гурьев, В. В., & Цыганкова, А. А. "Зеленые" стандарты: оценка состояния и задачи совершенствования нормативной базы. Стандарты и качество, (8), С.16-21, 2016.
- [3] Романовский С.А. Опыт применения теплоизоляционных плит на основе волокон растительного происхождения/ Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова 2022, №1 С. 31-43
- [4] Кабирова А. И., Ибрагимов Р. А. Геополимеры, полученные механоактивацией исходных компонентов: обзор текущих тенденций. Журнал: вестник Белгородского Государственного Технологического Университета Им. В.Г. Шухова Том 9 № 5 , 2024

[5] Геополимерный цемент. Электронный ресурс. [https://www.geopolymer101.com/ru?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.geopolymer101.com/ru?utm_source=chatgpt.com)

[6] Н. А. Ерошкина, М. О. Коровкин. Геополимерные строительные материалы на основе промышленных отходов: моногр. / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 128 с. ISBN 978-5-9282-1221-6

[7] Яицкий, С. Н., Брагина, Л. Л., & Нестеренко, Д. О. Низкоэмиссионные магнетронные покрытия для флоат-стекла, 2017.

[8] Криволапова, В. В. Шумо-и звукоизоляция с применением современных строительных материалов и технологий. Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова С. 4200-4204, 2015.

[9] Хантимиров, А. Г., Абдрахманова, Л. А., Низамов, Р. К., & Хозин, В. Г. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида, усиленные базальтовой фиброй. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, (3 (61)), С. 75-81, 2022.

### Информация об авторах/ Information about the authors

Дробченко Наталья Валерьевна	Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет имени мирзо Улугбека канд.арх. (PhD), и.о.профессора
	Email: <a href="mailto:n.drobchenko@samdaqu.edu.uz">n.drobchenko@samdaqu.edu.uz</a>
	Tel.: +998974067153
	<a href="https://orcid.org/0009-0003-3488-481X">https://orcid.org/0009-0003-3488-481X</a>

## Production of non-corrosive coatings based on copper and zinc by gas-dynamic method

G.V. Moskvitin<sup>1</sup>, V.E. Arkhipov<sup>1</sup>, M.S. Pugachev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Institution of Science Blagonravov Institute of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences (IMASH RAS), Moscow, Russia

**Abstract:** The paper examines copper and copper-zinc coatings (such as "brass") obtained by the method of "cold" gas-dynamic spraying. The X-ray diffraction phase analysis method revealed that zinc is the main element that "captures" corundum particles, but it cannot "retain" corundum particles under the influence of a conjugated surface, having separated from the coating surface, they have a significant effect on friction processes in the tribological pair. Two mechanisms are proposed that describe the effect on the nature of the change in the microgeometry of the surface of the counterbody and its wear. Tests of copper-zinc coating of brass type in the medium of industrial oil paired with steel ShKh15 showed low wear intensity up to the effect of non-wear without deterioration of the surface quality of the friction pair.

**Keywords:** copper coating; copper and zinc coating; brass; phase analysis, gas dynamic spraying; wear mechanisms

## Получение безызносных покрытий на основе меди и цинка газодинамическим методом

Москвитин Г.В.<sup>1</sup>, Архипов В.Е.<sup>1</sup>, Пугачев М.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), Москва, Россия

**Аннотация:** В работе исследуются покрытия меди и меди - цинка (типа «латуни») полученные методом «холодного» газодинамического напыления. Методом рентгеноструктурного фазового анализа выявлено, что цинк является основным элементом, «захватывающим» частицы корунда, но он не может «удержать» частицы корунда под воздействием сопряжённой поверхности, отделившись от поверхности покрытия, они оказывают значительное влияние на процессы трения в трибологической паре. Предложены два механизма, описывающие влияние на характер изменения микрогеометрии поверхности контртела и его износ. Испытания медно-цинкового покрытия типа латуни в среде индустриального масла в паре со сталью ШХ15 показали низкую интенсивность изнашивания вплоть до эффекта безызносности без ухудшения качества поверхности пары трения.

**Ключевые слова:** покрытие меди; покрытие меди и цинка; латунь; фазовый анализ, газодинамическое напыление; механизмы изнашивания

### 1. Введение

Выбор материалов триботехнического назначения для тяжело нагруженных сопряжений определяется наличием комплекса определённых свойств, способных обеспечить работоспособность и долговечность изделия с учётом функциональных характеристик, особенно применительно к условиям эксплуатации. К таким характеристикам в первую очередь относится износостойкость и способность поверхностных эксплуатационных слоёв сопротивляться разрушению под воздействием нагрузок и агрессивных сред.

Для изготовления деталей пар трения скольжения используются разнообразные конструкционные материалы [1]. Для стальных тяжело нагруженных сопряжений эффективным средством повышения их несущей способности является создание модифицированных поверхностных слоёв. С этой целью применяются разнообразные методы, основанные на принципах химического, электрохимического и физического осаждения и формирования покрытий на

поверхности изделий [2]. В качестве материалов покрытий широкое распространение получили медные сплавы вследствие их способности создавать предпосылки для реализации положительного градиента механических свойств по толщине поверхностного эксплуатационного слоя и, следовательно, локализовать в нём физико-химические и деформационные процессы, ответственные за формирование частиц износа [3]. При этом в основе триботехнической эффективности медьсодержащих поверхностных слоёв является фрикционный массоперенос, который определяется их структурно-механическим состоянием.

Массоперенос материала с одной поверхности на другую является универсальным эффектом и имеет место практически при всех механизмах изнашивания, являясь одним из важных составляющих, которые влияют на уровень поверхностного разрушения, несущую способность контакта и ресурс узла трения в целом. На основе результатов экспериментальных исследований в [4] описаны представления о наиболее распространённых механизмах фрикционного массопереноса. Наибольший эффект повышения



износостойкости материала наблюдается при фрикционном массопереносе в условиях избирательного переноса [3]. Суть механизма состоит в формировании в зоне контакта слоя меди в результате физико-химических факторов при трении в поверхностно-активной смазочной среде и его последовательного переноса на сопряженную поверхность и обратно. Этот процесс имеет циклический характер, вызванный перераспределением дислокационной структуры и легирующих элементов, в результате чего пара трения переходит в режим практической безызносности.

В настоящее время для увеличения ресурса стальных пар трения получает применение метод «холодного» газодинамического напыления покрытия меди и медно-цинковых покрытий типа «латуни» [5,6]. Этот метод позволяет напылять функциональные покрытия на небольшие участки и значительные площади поверхности деталей в заводских и полевых условиях при минимальном разогреве подложки до 150°C. Метод реализуется путем введения в нагретый поток воздуха, механической смеси частиц металлов и химического соединения – твердого и хрупкого оксида алюминия (корунда), при соударении с которым и поверхностью металлы деформируются, уплотняются и за счёт этого повышается когезия нанесённого слоя металла и адгезия с подложкой. Свойства покрытий существенно зависят от механических свойств металлов и температуры напыления и, например, для покрытия меди адгезия достигает 50-55 МПа и когезионная прочность находится в пределах 80-140 МПа, что обусловлено наличием сжимающих напряжений разной величины [5]. Столь высокие значения позволяют рассчитывать на сопротивление разрушению нанесённого слоя металла под воздействием нормальных и касательных нагрузок.

Напыление покрытия с использованием механической смеси частиц меди, цинка и корунда сопровождается процессом модификации частиц цинка за счёт диффузии в них атомов меди с формированием структур, присущих латуням от твёрдого раствора цинка

в меди ( $\alpha$ -фазы) до твёрдого раствора меди в цинке ( $\eta$ -фазы), что дало основание обозначить медно-цинковые покрытия, как покрытия типа «латуни» [6]. Наличие корунда в покрытиях, нанесённых методом «холодного» газодинамического напыления, как бы заранее предопределяет невозможность их использования для подшипников трения скольжения из-за износа сопряжённой поверхности – контртела или пары в целом. Однако, проведённые и проводимые испытания на трение в разных средах, показывают результаты, которые дают основание считать покрытия на основе меди и медно-цинковые покрытия типа «латуни» весьма перспективными для создания поверхностей трения скольжения (подшипников) как при изготовлении деталей и узлов, так и при их восстановлении.

Испытание покрытий меди, нанесённых при температуре 270°C и 450°C в сопряжении с контртелом из стали ШХ15, термически обработанной на 60-62 HRC в условиях смазки минеральным маслом И-20А и пластичном смазочном материале Литол-24, выявили низкую интенсивность изнашивания, соизмеримую с её показателями при трении в режиме избирательного переноса, когда потери на износ предельно малы [5]. Покрытие меди, нанесённое методом газодинамического напыления при использовании низкой и высокой температуры потока воздуха, обладает высокой работоспособностью при испытаниях в условиях трения и изнашивания:  $I_h$  (покрытия)  $\approx (1,1-1,5) \times 10^{-10}$  и  $I_h$  (контртела)  $\approx (0,3-0,4) \times 10^{-11}$  при смазке маслом И-20А и  $I_h$  (покрытия)  $\approx (2-5) \times 10^{-10}$  и  $I_h$  (контртела)  $\approx 0,2 \times 10^{-11}$  в Литол-24 [5]. Исследование микрогеометрии покрытия меди, нанесённого при температуре 450°C, и контртела по параметрам Ra и Rz показывает улучшение качества на 1 класс поверхностей трения для обеих сред испытания (табл.1), У покрытия, нанесённого при температуре 270°C только при испытании в масле И-20А не отмечено улучшения качества, что может быть обусловлено изменением свойств покрытия, например твёрдости [5].

Таблица 1

Результаты измерения микрогеометрии поверхности покрытия меди, нанесённого при 450С и контртела из стали ШХ15

Рабочая среда	Шероховатость, мкм					Класс чистоты, ∇
	До испытания		Класс чистоты, ∇	После испытания		
	R <sub>a</sub>	R <sub>z</sub>		R <sub>a</sub>	R <sub>z</sub>	
	Контртело из стали ШХ15					
Масло И-20А	0,135	0,785	10-11	0,057	0,396	11-12
Литол 24	0,135	0,847	10-11	0,084	0,510	11
	Образец с покрытием меди					
Масло И – 20А	0,292	0,855	9	0,15	2,189	10
Литол 24	0.073	0,833	11	0,116	1,298	10-11

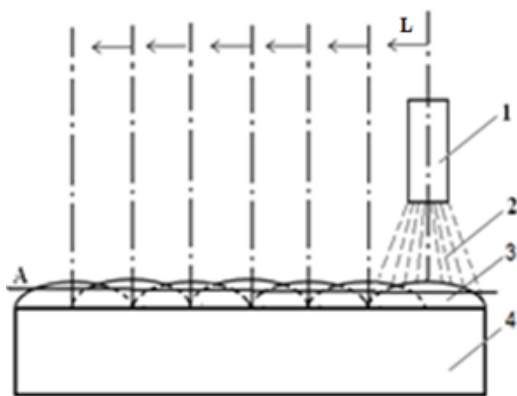
Цель исследования: проведение оценки состояния, состава и строения структуры покрытия меди и медно-цинкового покрытия типа «латуни», а также описание механизма влияния особенностей формирования покрытий на взаимодействие пар трения скольжения и массоперенос компонентов покрытия.

Режимы нанесения покрытия и методы исследования.

На образец из стали 40Х наносится покрытие с помощью установки ДИМЕТ-405 при скорости перемещения сопла относительно образца 10 мм/с и расстояния от сопла до поверхности напыления 10 мм. Применяли механическую смесь частиц меди и корунда в соотношении Cu:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=55:45 (масс%), цинка и корунда в соотношении Zn:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=55:45 (масс%) и меди, цинка и корунда в соотношении Cu:Zn:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 35:35:30

(масс%) при этом температура потока воздуха составляла 270°, 360°, 450° [7].

Перемещение сопла вдоль края образца позволяет получить слой металла шириной  $\approx 5,5$  мм, имеющего в сечении вид сегмента окружности. Сопло выводится за периметр поверхности образца и затем смещается на расстояние  $L=2$  мм (перекрытие  $\approx 64\%$ ) относительно ранее нанесённого слоя металла, после чего при обратном ходе сопла наносится следующий слой (рис.1) [6]. Толщина покрытия зависит от физико-механических свойств наносимого металла и температуры напыления и находится в пределах 150-450 мкм и для получения достаточной для проведения исследований и испытаний толщины покрытия ( $\geq 1$  мм) напыление проводится многократно за счёт нанесения слоев друг на друга (циклов напыления) (рис.1).



**Рис. 1. Принципиальная схема нанесения покрытия:** Вид сбоку: 1- сопло; 2 – поток частиц; 3 – нанесенный слой; 4 – подложка; А – уровень механической обработки нанесённого слоя металла

Фазовый состав покрытий исследовали на дифрактометре Rigaku Ultima IV на Cu-K $\alpha$  излучении. Анализ дифрактограмм осуществляется на основе программного продукта PDXL (Rigaku) с использованием базы данных PDF-2. Количественный анализ проводится с использованием метода Ритвелда, реализованного в пакете программ PDXL (Rigaku).

Рентгенофлуоресцентный анализ осуществляется на спектрометре Rigaku PrimusII с использованием в качестве источника рентгеновского излучения рентгеновской трубки с Rh-анодом, в вакууме и диапазоне элементов от Ca до U. Количественный анализ проводится после записи и расшифровки экспериментальных спектров от исследуемых образцов с помощью специального программного обеспечения фирмы Rigaku ZSX методом фундаментальных параметров SQX (без использования эталонных образцов).

Изучение морфологии и элементного состава покрытия проводится на сканирующем электронном микроскопе FEI «Quanta-650» с энергодисперсионным рентгеноспектральным анализатором EDAX. В исследовании используется детектор обратноотраженных электронов, позволяющий получать изображение с контрастом по атомному номеру и визуализировать различные фазы на поверхности образцов. Источником электронов в микроскопе служил вольфрамовый катод, ускоряющее напряжение составляет 25 кВ.

**Литературный анализ.** С помощью методов рентгеноструктурного анализа определить состояние, состав и строение структуры покрытия меди и медно-цинкового покрытия типа «латуни». Дать описание влияния механизма формирования покрытий на взаимодействие пар трения скольжения и массоперенос компонентов покрытия.

Рентгеноструктурный фазовый анализ покрытий на основе механической смеси частиц меди, цинка, а также этих металлов и корунда нанесённых при 360° показывает, что основной фазой в покрытии меди является чистая медь, то есть содержание оксида алюминия не превышает 1% [6,8]. У покрытия цинка и медно-цинкового покрытия содержание – массовая доля корунда практически не отличается и составляет  $5,6 \pm 0,7\%$  и  $5,3 \pm 1,4\%$  соответственно. Таким образом, выявлено, что данное напыление может оказывать значительное влияние на триботехнические характеристики медно-цинковых покрытий по сравнению с покрытиями меди и интенсивность изнашивания сопряжённых поверхностей пары трения. Более того, можно предположить, что цинк, который при нормальной температуре имеет низкие механические свойства ( $\delta=30\%$ ,  $\sigma_b=120$  МПа) не сможет «удержать» частицы корунда под воздействием сопряжённой поверхности и они, отделившись от поверхности покрытия, могут оказать значительное влияние на целостность сопряжённой поверхности и пары в целом [9]. Рентгеноструктурный фазовый анализ также выявляет в медно-цинковом покрытии твёрдые растворы электронного типа на базе CuZn $\beta$  ( $\epsilon$ -фаза) с массовой долей до 12,6% и на базе Cu $_5$ Zn $_8$  ( $\gamma$ -фаза) с массовой долей 17,0%, присущие латуням, что связано с диффузией меди в цинк и её модификацией [6,10].

Поверхность покрытия, нанесённого на основе смеси частиц меди и корунда при температуре 360°C, после механической обработки на наждачной бумаге разной зернистости и полировке на сухие с использованием суспензий: визуально покрытие имеет достаточно монолитный характер с рельефом, возникшим за счёт устранения хрупких оксидных плёнок по границам частиц металлов. Наблюдаемые замкнутые полости (углубления) разной формы и протяжённости могут сформироваться в процессе напыления, так как открытая пористость покрытия составляет от 4% до 6% в зависимости от температуры напыления, но, в основном, их возникновение связано с устранением частичек корунда при механической обработке покрытия [5]. Они значительно отличаются по размеру, но в основном их величина не превышает 2 мкм, и они функционально могут осуществлять роль ёмкостей-карманов для удержания смазочных сред. На поверхности можно наблюдать частицы корунда разной формы и незначительного размера, которые, можно предположить, основным объёмом закреплены в медной основе, а также тонкие фрагменты кристаллов оксида алюминия, размер которых не превышает 5 мкм.

На поверхности покрытия меди и цинка был проведён микрорентгеноспектральный анализ химического состава в точках, которые визуально не содержат частиц корунда, а также каких-либо дефектов. Результаты представлены в виде весового содержания и интенсивности линий спектра алюминия (оксида алюминия) в покрытиях меди и цинка (табл. 2).

Зона инициирования спектра для данного состава покрытия представляет собой окружность диаметром  $\approx 2$



мкм при глубине возбуждения, не превышающей 1-2 мкм. Таким образом, представленные результаты микрорентгеноспектрального анализа состава покрытия и содержание компонентов покрытия с интенсивностью линий имеют интегральную величину (табл. 2). Из результатов анализа состава покрытия на основе меди видно, что содержание алюминия ( $Al_2O_3$ ) отличается достаточно значительно по местам инициирования спектра от 1,87 вес% (интенсивность 63,64, т.4, табл. 2) до 0,09 вес% (интенсивность 3,01, т.1, табл. 2). Результаты можно интерпретировать как спектр от нескольких частиц, возможно разного размера присутствующих в зоне инициирования, так и от одной частицы. Однако, рассматривая ряд интенсивностей (т.т.1,2,3,6,8,9), которые могли быть получены от частиц примерно одного размера с учётом их закрепления основным объёмом - размером в медной основе, можно предположить, что при возбуждении остальных спектров таких частиц на площади инициирования спектра было больше, а именно в т.т.5 и 7 – 3-4 частицы и в т.4 – 10-12 частиц. Таким образом, можно сделать вывод, что распределение частиц корунда по площади

покрытия меди достаточно неравномерно, что может оказать влияние на работу сопряжённой пары трения.

Если соотнести площадь, занимаемую медью и алюминием к величине весовой компоненты каждого компонента и, соответственно, интенсивностью линий спектра, то можно оценить величину (размер) площади, занимаемой частицами корунда. Рассчитывая пропорциональную зависимость интенсивности спектра металлов от площади поверхности, занимаемой медью и алюминием получаем, что величина (площадь) частицы корунда не может превышать 0,05 мкм<sup>2</sup>. Как видно из результатов проведённого анализа, частицы корунда размещены в покрытии неравномерно, закреплены достаточно надёжно в покрытии меди, а иначе были бы удалены при механической обработке и должны незначительно выступать над поверхностью за счёт удаления более мягкой основы металла. Таким образом, покрытие представляет собой шлифовально – полировальный инструмент, который при приложении нагрузки и движении пары трения «выглаживает» микронеровности поверхности контртела из стали ШХ15, что сопровождается значительным улучшением качества поверхности, что было отмечено ранее (табл.1).

Таблица 2

Результаты микрорентгеноспектрального анализа покрытия на основе меди и цинка			
Содержание алюминия, % в покрытии			
меди		цинка	
Весовое	Полная интенсивность	Весовое	Полная интенсивность
0,09	3,01	14,12	520,78
0,17	5,58	3,49	96,64
0,19	6,21	1,08	29,05
1,87	63,74	8,87	299,50
0,49	15,94	8,75	219,00
0,16	5,31	1,26	33,41
0,54	18,13	0,64	33,41
0,23	7,54	0,77	22,09
0,17	5,55	-	-

При взаимодействии сопряжённой пары трения, а именно покрытия меди с контртелом из стали ШХ15 термически обработанной на твёрдость 60-62 HRC в предварительный контакт вступают две псевдоповерхности – одну из них составляют частицы корунда выступающие над поверхностью покрытия, а вторую – вершины профиля микронеровностей ( $R_a$  и  $R_t$ ). По твёрдости оксид алюминия уступает только алмазу и, поэтому при нагружении пары и смещении поверхностей относительно друг друга частицы корунда врезаются в вершины микронеровностей на глубину выступающих частиц корунда, что значительно меньше параметров  $R_a$  и  $R_t$ , таким образом, улучшая качество поверхности. Остальная и, возможно, весьма значительная часть вершин микронеровностей, не подвергшихся механическому воздействию частиц корунда, как инструмент врезаются в поверхность покрытия меди и срезают слой металла, который остаётся на поверхности контртела, повышая его массу. При этом, за счёт съёма части поверхности металла покрытия увеличивается размер выступающей над поверхностью части частиц корунда с уширением их у основания.

В последующем, при взаимодействии сопряжённой пары, более значительно выступающие частицы корунда, оказывают существенное влияние на формирование профиля поверхности контртела, что может сопровождаться обратным переносом на покрытие не только микрообъёмов меди, ранее «захваченных», но и некоторых частей стальных фрагментов микронеровностей контртела, тем самым изменяя массу образца с покрытием. Результат этого процесса ещё в большей степени позволяет сформировавшемуся микрорельефу поверхности контртела механически воздействовать на покрытие меди и «захватывать» - переносить более значительную массу меди, что уже может позволить сформироваться тонкой плёнкой металла, возможно не на всей поверхности контртела, достаточно надёжно закреплённой в углублениях микрорельефа поверхности ( $R_a$  и  $R_t$ ). Следует отметить, что при механическом воздействии частиц корунда на термически обработанную поверхность контртела и её «разрушении» от воздействия частиц корунда энергия будет увеличиваться, что будет способствовать созданию более прочных связей частичек - микрообъёмов меди с поверхностью контртела. Этим, в



принципе, заканчивается процесс приработки поверхностей пары трения и в дальнейшем сформировавшаяся плёнка покрытия меди на контртеле, будучи поверхностью – псевдоповерхностью контртела с остатками выступающего микрорельефа вступает в контакт с частицами корунда, которые её деформируют – «вспучивают», создавая некую новую псевдоповерхность, вступающую в контакт с покрытием, что может способствовать переносу уже незначительных микрообъёмов меди на поверхность покрытия и затем обратно. Данный механизм рассмотрен и представлен как некий последовательный процесс, однако из-за того, что частицы корунда распределены по площади покрытия неравномерно, и они могут выступать над поверхностью на разную высоту, то перенос массы металлов должен носить последовательно – параллельный характер и его функционирование, может быть, не связано с наличием какой-либо смазочной среды.

## 2. Методика исследования

Влияние количества частиц и их размеров на качество сопряжённой поверхности, то необходимо рассмотреть два механизма, которые могут оказать влияние на характер изменения микрогеометрии поверхности контртела и его износ. В медно-цинковом покрытии, в отличие от покрытия меди, визуально можно отметить достаточно многочисленные частицы корунда разной формы и размера. Причём, между этими частицами и матрицей – основой имеется некоторый разрыв – зазор, что можно интерпретировать как не слишком надёжное их закрепление в покрытии. В покрытии частицы цинка и меди размещены хаотично и, в той или иной степени могут чередоваться по отношению к направлению перемещения сопряжённых поверхностей и если частицы корунда, размещённые в частицах цинка с размером занимаемой площади до 0,5 мм<sup>2</sup>, могут искажать профиль поверхности, ухудшая качество, то частицы корунда меньшего размера 0,05 мм<sup>2</sup> закреплённые надёжно в частицах меди могут и будут залечивать дефекты, не давая снижаться качеству, что и наблюдается при проведении испытаний медно-цинкового покрытия на трение [11]. Кроме того, при рассмотрении работы пары трения следует учитывать, что содержание цинка и меди зависит от температуры и продолжительности напыления (количества циклов), что связано с энергетическими особенностями метода газодинамического напыления и, например при температуре напыления 270°C массовая доля цинка может составлять порядка 10% [12, 13]. И, в этом случае, за счёт повышения содержания количества частиц меди с мелкими частицами корунда (0,05 мм<sup>2</sup>) способных эффективно «залечивать» дефекты, нанесённые крупными частицами корунда, находящимися в частицах цинка, можно даже рассчитывать на повышение качества поверхности контртела и пары в целом, как это было выявлено при испытании покрытия меди в паре со сталью ШХ15 (табл. 1).

При отрыве от поверхности покрытия крупных частиц корунда размером до 10 мкм и оценки возможности их воздействия на поверхность пары трения можно рассмотреть следующий механизм. При нанесении покрытия с использованием механической смеси частиц меди, цинка и корунда методом

газодинамического напыления проходит модификация частиц цинка за счёт диффузии меди, в результате чего формируются фазы присущие латуни. Модификация структуры цинка зависит от параметров напыления (температуры, продолжительности) и состояния структуры, включая величину микродеформаций и, соответственно скорости диффузии [6, 13]. Оторвавшаяся от поверхности напыленного слоя металла частица корунда, перемещаясь по поверхности медно-цинкового покрытия, может встретиться с частицей меди, чистого и модифицированного цинка деформируя и/или разрушая её, в зависимости от механических свойств металлов. Предел прочности меди, в нашем случае, составляет 210-220 МПа при пластичности 38%, а цинка 120 МПа при пластичности 22% и можно допустить, что они не способны остановить перемещение твёрдой частицы [14]. Но, встречаясь с модифицированной частицей цинка, которая имеет переменный состав и свойства, частица оксида алюминия может вполне остановиться. При входе на модифицированную частицу цинка частица корунда начнёт испытывать увеличение сопротивления перемещению, так как прочность её меняется в зависимости от содержания компонентов (меди, цинка) и может возрасти до 300 МПа, что соответствует латуни марки Л90 – Л80. При смещении частицы оксида далее к центру модифицированной частицы цинка с увеличением содержания цинка и уменьшением содержания меди предел прочности возрастает до 400-450 МПа, как для латуни марки Л63- Л59 [10]. Эта зона незначительна по величине – толщине и может существенно затормозить частицу корунда, но не остановить и тогда, преодолев это незначительное по величине препятствие, частица корунда попадает в область с содержанием меди 8-10 вес%, прочность которой составляет 20-30 МПа и разрушает её, тем самым, как-бы попадая в карман. Так как далее за этой областью опять возникает участок частицы модифицированного медью цинка прочностью 400-450 МПа, то эта частица не будет иметь возможность перемещаться далее и разрушать целостность поверхности пары трения.

Исследуемый способ получения медно-цинковых покрытий путем подбора оптимальных технологических параметров напыления сформировать покрытие с высокими трибологическими, коррозионными или механическими свойствами, что подтверждается проведенными исследованиями и демонстрирует, метод «холодного» газодинамического напыления, как современный перспективный способ формирования функциональных покрытий различного назначения на поверхности сплавов железо-углерод.

## 3. Заключение

В результате рентгеноструктурным фазовым анализом определено, что при напылении покрытия на основе механической смеси частиц меди и цинка методом холодного газодинамического напыления цинк является основным элементом «захватывающим» частицы корунда.

Цинк в покрытии типа «латуни», не сможет «удержать» частицы корунда под воздействием сопряжённой поверхности, что приводит к их отделению, отделившись от поверхности покрытия, они



оказывают значительное влияние на целостность сопряжённой поверхности и пары трения в целом.

На поверхности напыленного покрытия типа «латуни» существуют замкнутые полости (углубления) разной формы и протяжённости формируются в процессе напыления, их возникновение связано с устранением частичек корунда при механической обработке покрытия. Их величина не превышает 2 мкм, и они функционально могут осуществлять роль ёмкостей-карманов для удержания смазочных сред.

Распределение частиц корунда по площади покрытия меди достаточно неравномерно, что может оказать влияние на работу сопряжённой пары трения.

Предложены два механизма, которые могут оказать влияние на характер изменения микрогеометрии поверхности контртела и его износ.

Медно-цинковое покрытие типа «латуни» в среде индустриального масла в паре со сталью ШХ15 показывает низкую интенсивность изнашивания вплоть до эффекта безызносности без ухудшения качества поверхности пары трения.

Авторы благодарят д.т.н. профессора Л.И. Куксёнову за проведение испытаний медных и медно-цинковых покрытий, обсуждение и интерпретацию результатов.

## Использованная литература / References

[1] Конструкционные материалы. Справочник. Под общей редакцией Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.

[2] Елагина О.Ю. Методы создания износостойких покрытий. М.: НЕДРА, 2010. 570 с.

[3] Kuksenova L.I., Savenko V.I. Physicochemical Tribomechanics of Antifriction Materials Operating in Heavy-Loaded Friction Pairs in Active Lubricating Media // Friction and Wear. 2023. V. 44. № 6. P. 333-345.

[4] Погосян А.К., Оганесян К.В. Явление фрикционного переноса: основные закономерности и методы исследования. // Трение и износ. 1986. Т.7. №6. С. 998-1008.

[5] Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С. Газодинамическое напыление: структура и свойства покрытий. М.: КРАСАНД, 2017. 240 с.

[6] Архипов В.Е., Муравьёва Т.И., Пугачев М.С., Шкалей И.В. Влияние технологических параметров газодинамического напыления на структурно - фазовые превращения в покрытии типа «латуни» // Упрочняющие технология и покрытия. 2020. №12. С. 554-560.

[7] Димет. Применение технологии и оборудования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dimet-r.narod.ru/> - (Дата обращения 14.10.2024).

[8] Миркин Л.И. Рентгеноструктурный анализ. Индексирование рентгенограмм. Справочное руководство. – М., Наука, 1981, 496 с

[9] Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986, 566 с.

[10] Ефремов Б. Н. Латуни. От фазового строения к структуре и свойствам. М: ИНФРА-М, 2020. 314 с.

[11] Сачек Б.Я., Мезрин А.М., Архипов В.Е., Лондарский А.Ф. «Модифицирование поверхностей трибосопряжений напылением металлических покрытий как средство повышения их фреттингостойкости» // Трение и износ – 2018, т39, №4, С. 24-29.

[12] Куксёнова Л.И., Архипов В.Е., Пугачев М. С., Козлов Д.А. Структурно-фазовые превращения, массоперенос и триботехнические характеристики газодинамических медно-цинковых покрытий при трении скольжения. Материаловедение в машиностроении, 2025, №2 (164). С. 11-22

[13] Бокштейн Б.С. Диффузия в металлах. Изд 2-е. М.: URSS, 2019. 248 с.

[14] Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.И. – М.: МИСИС, 2005. -432 с.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Москвитин Г.В.** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), Москва, Россия  
E mail: [GVMoskvitin@yandex.ru](mailto:GVMoskvitin@yandex.ru)

**Архипов В.Е.** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), Москва, Россия  
E mail: [GVMoskvitin@yandex.ru](mailto:GVMoskvitin@yandex.ru)

**Пугачев М.С.** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), Москва, Россия  
E mail: [GVMoskvitin@yandex.ru](mailto:GVMoskvitin@yandex.ru)



## Theoretical and experimental studies of embankment reinforcement in the area where the railway roadbed meets the bridge

M.Kh. Mekhmonov<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article defines the methods of strengthening the embankment with reinforced concrete piles in the area of the interface of the roadbed with the shore supports of the bridge using theoretical mathematical expressions in accordance with different heights of the embankment. Calculations were performed based on seismograms recorded by CM-3 sensors during experimental studies of the amplitude, frequency, oscillation period, and logarithmic decrement of the soil of the roadbed as a result of strengthening the embankment with reinforced concrete piles at the approaches to the bridges. In addition, the amplitude-frequency characteristics of vibrations and displacements near the pile and at the edge of the roadbed during vibrations are determined.

**Keywords:** coastal support, transition area, oscillation frequency, embankment, bridge, reinforced concrete pile, test model, earth bed, soil, seismometric sensors

## Temir yo'l yer polotnosi va ko'prik tutashgan zonasida ko'tarmani mustahkamlashning nazariy va eksperimental tadqiqotlari

Mehmonov M.H.<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqolada yer polotnosi va ko'prik qirg'oq tayanchlari tutashgan zonalarida ko'tarmani temirbeton qoziqlar yordamida mustahkamlash usullari turli hil ko'tarma baladliklariga mos holda nazariy jihatdan matematik ifodalar yordamida aniqlangan. Temir yo'l yer polotnosi va ko'prik tutashgan zonalarida ko'tarmani temirbeton qoziqlar bilan mustahkamlash natijasida yer polotnosi gruntlaridagi tebranishlar amplitudasi, chastotasi, davri va logarifmik dekrmetlarning qiymatlari eksperimental tadqiqotlar o'tkazish natijasida SM-3 dadchiklari yordamida yozib olingan seysmogrammalarga asoslangan holda hisob-kitob ishlari bajarilgan. Shuningdek, tebranish jarayonida temirbeton qoziq yonida va yer polotnosi chekkasidagi ko'chish va tebranishlarining amplituda-chastotali tavsiflari aniqlangan.

**Kalit so'zlar:** qirg'oq tayanchi, o'tish uchastkasi, tebranishlar chastotasi, ko'tarma, ko'prik, temirbeton qoziq, sinov modeli, yer polotnosi, grunt, seysmometrik datchiklar

### 1. Kirish

Temir yo'lda yer polotnosi va ko'prik qirg'oq tayanchlari tutashgan joyida turli xil deformatsiyalar yuzaga kelishi ko'paymoqda. Ko'prik qirg'oq tayanchlari ko'prik inshootlarining eng muhim elementlaridan bo'lib, oraliq qurilma konstruksiyasi va o'tish uchastkasida ko'tarma birikuvini ta'minlab beradi. Ko'prikni temir yo'l ko'tarmalari bilan birikuvini qirg'oq tayanchlar yordamida amalga oshiriladi. Bunday birikuvga qo'yiladigan asosiy talab – temir yo'l asosining birligi ravon o'zgarishi hisobiga ko'prikka silliq kirib borish imkoniyatini yaratishdan iborat. Bunga, avvalambor, tayanch grunt vaznidan hamda tayanch orqasidagi ko'tarmaning vaqtincha yuklanishidan hosil bo'ladigan gorizontaal bosimni o'ziga qabul qilib, ustki qismida katta vertikal siljishlarga yo'l qo'ymasligi orqali erishiladi. Bundan tashqari, birlikning o'zgarishi tayanch orqasida maxsus o'tish plitalarini yotqizish bilan ta'minlanadi. Ko'tarmaning oraliq tomonga surilib ketmasligi o'zi ham mustahkam bo'lishi kerak bo'lgan konus yordamida ta'minlanadi [1, 2].

Poezdlarning tezyurar uchastkalarida ko'prikoldi chuqurlarni hosil bo'lishiga yo'l qo'ymaslik kerak. Bunda poezdlarning birligi o'zgaruvchan bo'lgan tezyurar

harakati uchastkalarida vertikal cho'kishlarning oldini olish asosiy talablardan biridir.

**Mavzuning dolzarbligi.** Xorijiy davlatlardagi temir yo'llardan foydalanish sohasida to'plangan ko'p yillik tajribadan ma'lumki, ustunlar oldida "ko'prik oldi chuqurlar" hosil bo'lar ekan, ya'ni ballast qatlami bilan yer polotnosida vaqt o'tgan sayin ko'payib va kattalashib boruvchi qoldiq deformatsiyalar to'planib boradi, bu esa hozirgi kunda dolzarb masalalardan biri bo'lib hisoblanadi. Bu hodisa quyidagi vaziyatlarga bog'liq:

1. Ballastsiz polotnoli ko'prikdagi yo'l yetarli darajada barqaror va cho'kuvchan bo'ladi. Shu bilan birga, tutash kirish joylaridagi rels-shpala panjarasi ostida zichlangan ballastda cho'kishlar yig'ilib boradi. Bir yil davomida liniyaning yuk tashish jadalligiga qarab cho'kish 5-10 mm tashkil etishi mumkin.

2. Qalinligi 2-3 m ko'tarmaning ustki qatlami ham poezdlarning vibrodinamik ta'siri ostida cho'kishga moyil bo'ladi. Bunga ballastning ifloslanishi hamda tayanchlar atrofidagi yer polotnosiga uzatiladigan yanada yuqori darajali vibrodinamik ta'sir sababchidir. Liniyaning yuk tashish jadalligiga qarab ko'tarmaning ustki qatlami bir yilda taxminan bir necha millimetrga teng qoldiq deformatsiyalarga chalinishi mumkin.

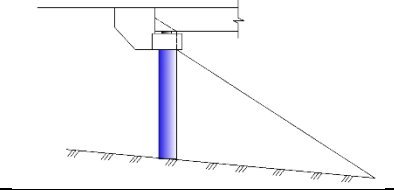
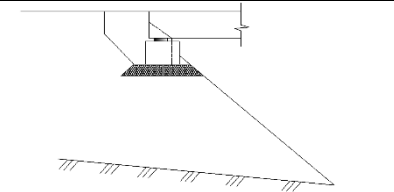
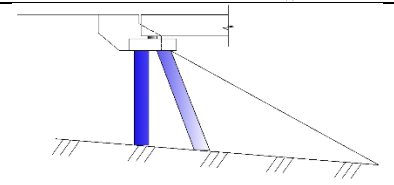
<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1230-5552>



Ko'prik qirg'oq tayanchlariga asosan yer polotnosi gruntlaridan hosil bo'ladigan faol bosimlar ( $Y_{ea}$ ) ta'sir ko'rsatadi [3]. Qirg'oq tayanchlarning turlari 1-jadvalda keltirilgan. Bunda asosan qirg'oq tayanchi harakatlanuvchi tarkibning tebranishidan xosil bo'luvchi kuchni o'ziga qabul qilish va asosga uzatish, hamda inshootning xavfsiz ishlashini ta'minlashi lozim.

1-jadval

Qirg'oq tayanchlarining turlari

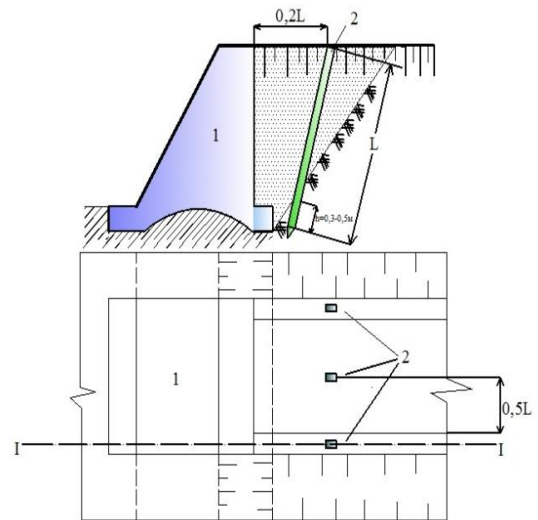
Qoziqli yoki ustun tipidagi yig'ma ustoy (bir qatorli)	
Gorizontal to'sinli tayanch ko'rinishidagi ustoy	
Qoziqli yoki ustun tipidagi yig'ma ustoy (ikki qatorli yoki chorpoyali)	

Gruntlarni to'siqlarga ko'rsatadigan bosim masalalari injenerlik hisob-kitoblarda eng muhimlaridan bo'lib, ular gruntlarning chekli zo'riqish holati nazariyasi va oldiga qo'yilgan masalalarni umumiy yechish usullari asosida topiladi. Yer polotnosi va ko'prik qirg'oq tayanchlari tutashgan joyda ko'tarma gruntlarini qirg'oq tayanchlariga bosim kuchlarini aniqlashni nazariy va eksperimental tadqiqotlar asosida ko'rib chiqishga undaydi.

**Materiallar tahlili.** Asosan barcha eksperimental tadqiqodlar seysmik platformadan, akademik A.G. Nazarovning "Qattiq deformatsiyalanuvchi jismlarning o'xshashlik nazariyasi" asosida yaratilgan markazdan qochirma modellash tirish mashinasidan, t.f.n., k.i.x. Z.R. Teshaboevning "Yer osti inshootlariga dinamik ta'sirlarni hosil qilish qurilmasi", hamda turli xil konstruksiyali mavjud ko'prik inshootlaridan foydalangan holda modellarda bajarilgan.

Ko'priklarning yuqorida qayd etilgan qirg'oq tayanchlari konstruksiyalariga ko'rsatiladigan ta'sirlarni kamaytirish maqsadida, deformatsiyalar hajmini kamaytirishga va inshootning ekspluatatsiya muddatini oshirishga imkon yaratuvchi konstruksiyasi nazariy xisob-kitoblar bilan asoslangan holda quyidagi yechim taklif etiladi.

Yer polotnosini ko'prikning qirg'oq tayanchi oldidagi ko'tarma qismini qoziqlar yordamida mustahkamlash gruntning inshootga faol bosimi ta'sirini kamaytiradi, hamda harakatlanuvchi transportdan tushadigan zarba kuchlarining bir qismi bevosita asos gruntiga uzatiladi. Qoziqlarni qoqishda ko'tarma grundi qo'shimcha tarzda zichlanadi, va bu kuchlanishlarni inshoot kesimiga yanada tekisroq taqsimlanishiga olib keladi (1-rasm).

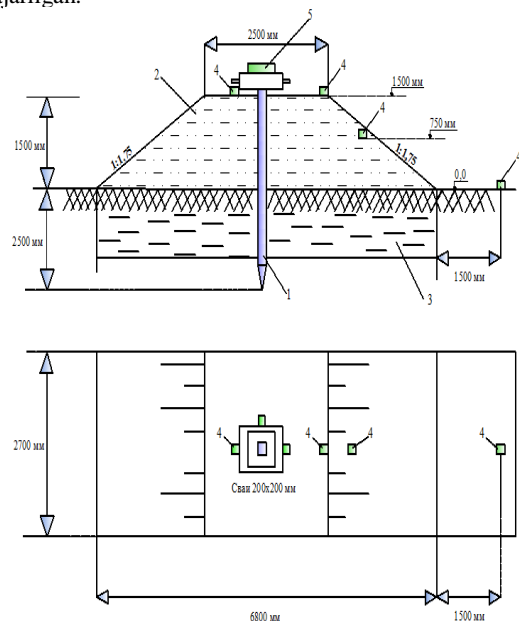


1-rasm. Ko'prikni qirg'oq tayanchi yer polotnosining ko'tarma qismini qoziqlar bilan mustahkamlash:

1 – ko'prikning qirg'oq tayanchi; 2 – temirbeton qoziqlar; L – qoziqlar uzunligi

Poezdlarni tezyurur harakatida yer polotnosining nisbatan zaif grunt asoslarida joylashgan baland ko'tarmalar barqarorligini ta'minlanishiga oid shunga o'xshash usul ishlab chiqib [4] keltirib o'tilgan.

Yer polotnosini mustahkamlashda, qoziqlardan foydalanish butun inshootning zilzilarga qarshi barqarorligini ta'minlaydi, chunki bu konstruksiya nisbatan elastik bo'lib, ko'tarma gruntini buzilib ketmasdan deformatsiyalanishiga imkon yaratadi. Yer polotnosi va ko'prik qirg'oq tayanchi tutashgan joyida ko'tarmaning maxsus modelida (2-rasm) yuzaga keladigan amplitudachastotali tavsiflarini aniqlashga qaratilgan sinov ishlari bajarilgan.



2-rasm. Yer polotnosi va ko'prik qirg'oq tayanchi tutashgan joyida ko'tarma sinov modelining umumiy sxematik ko'rinishi:

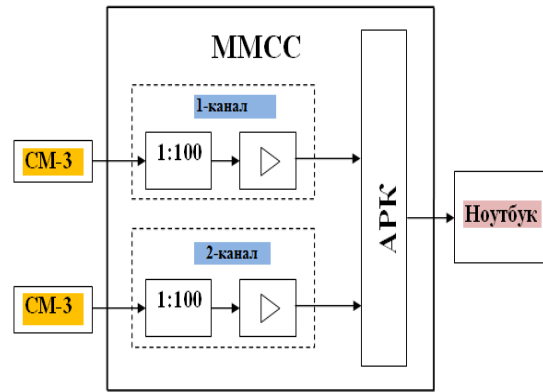
1 – temirbeton qoziq; 2 – yer polotnosi; 3 – asosdagi zaif grunt; 4 – SM-3 datchiklari, 5 – tebranishlar vibratori (VI-9-8A)



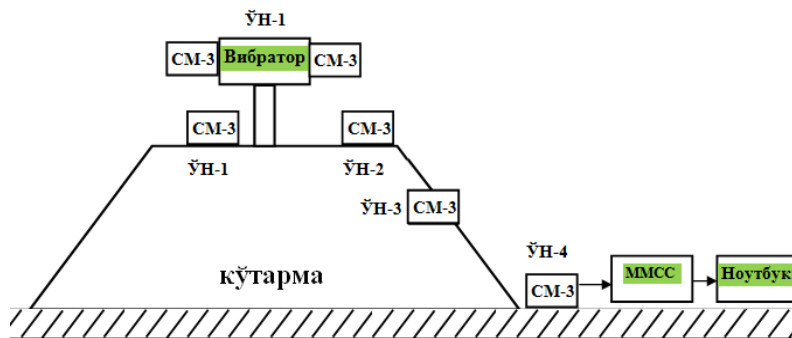
## 2. Tadqiqot metodikasi

Eksperimentni boshlashdan avval hamma asbob va jihozlar ish holatida ekanligi tekshirib chiqiladi. SM-3 ossilloqraf, kompyuter hamda VI-9-8A markali vibratorni tok manbasiga ulash uchun, elektr toki uzatiladi. Bu elektr toki xtiyotkorlik bilan o'lash jarayonida uzatib turiladi. 3-rasmda ikki kanalli mobil muhandislik seysmometrik (MMSS) stansiyaning blok sxemasi keltirilgan.

Har bir o'lchov kanaliga quyidagilar kiradi: kirish ajratuvchisi, kuchaytirgich, barcha kanallar uchun analog-raqamli konvertor (ARK), dasturiy ta'minotga ega noutbuk. O'lchovlar paytida 4 ta kanal bo'yicha ma'lumotlar olindi. O'lchov usullari 4-rasmda keltirilgan sxema asosida bajarildi.



3-rasm. Mobil muhandislik seysmometrik (MMSS) stansiyaning blok sxemasi



4-rasm. O'lchov natijalari olinadigan nuqtalarining sxematik ko'rinishi

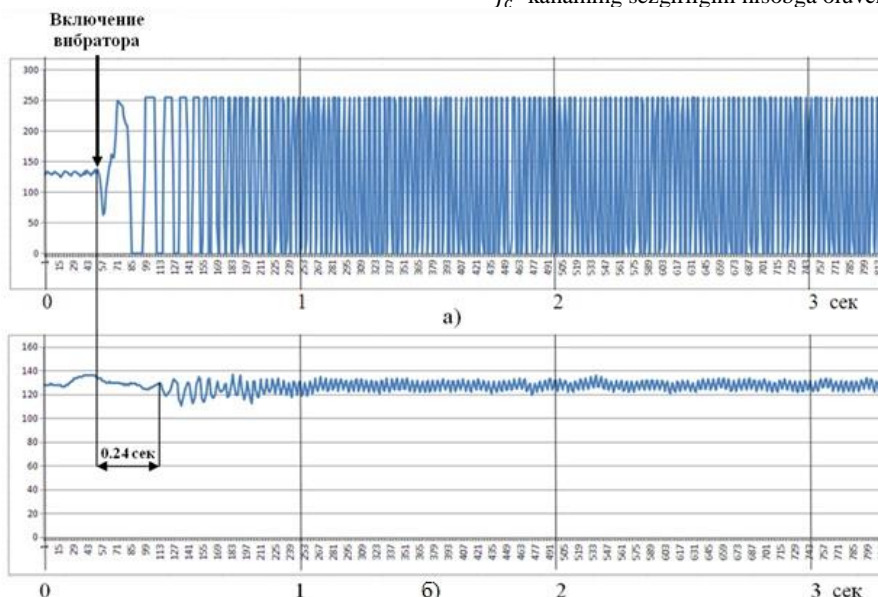
O'lchash jarayonida SM-3 datchiklarida 4 ta kanal bo'yicha tebranishlar qabul qilindi: 1-kanaldagi datchik: temirbeton qoziqdagi tebranishlarni qabul qildi, 2-kanaldagi datchik: temirbeton qoziqdagi gorizontaal tebranishlarni qabul qildi, 3-kanaldagi datchik: temirbeton qoziq to'g'risidagi gorizontaal tebranishlarni qabul qildi, 4-kanaldagi datchik: ko'tarma asosidan 1,5 m uzoqlikdagi asos gruntlarining tebranishlarni qabul qildi. Barcha xolatdagi natijalarning seysmogrammalari yozib olinib (5 va 6-rasmlar) qayta ishlash orqali yer polotnosi va ko'priq qirg'och

tayanchlari tutashgan joyida ko'tarmaning tebranishlar jarayoni tadqiq etildi.

Tebranish jarayonida temirbeton qoziq yonida va yer polotnosi chekkasidagi ko'chish 1-formula yordamida aniqlanadi [5-7].

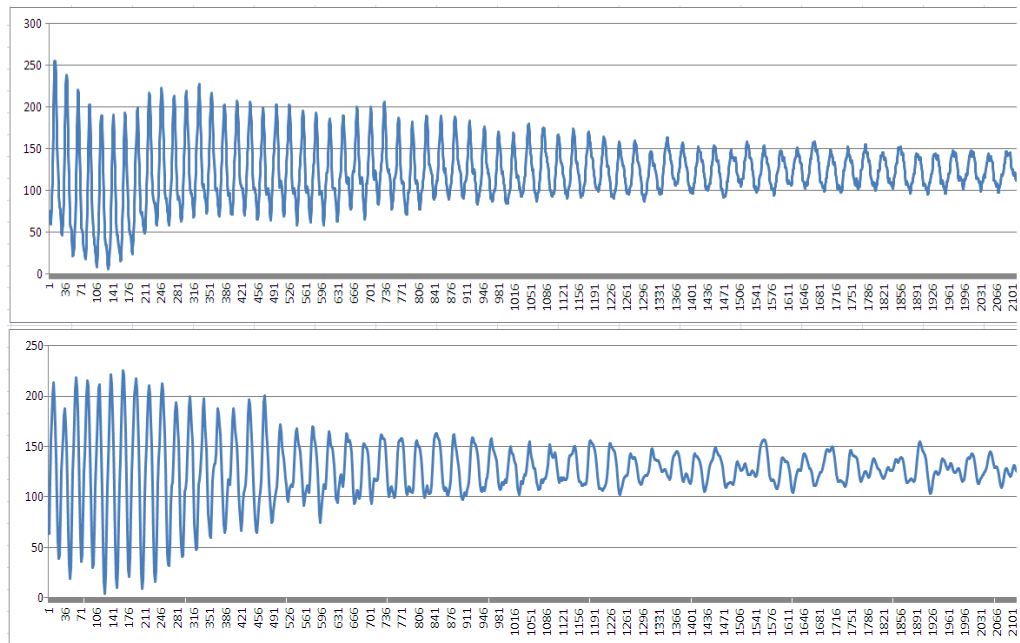
$$A_{\text{xak}} = \frac{\beta \cdot V_c}{f_c}, \quad (1)$$

bu yerda  $A_{\text{xak}}$  - haqiqiy ko'chish (mm),  $\beta$  - mobil stansiya kanalida o'rnatilgan susayish koeffitsienti,  $V_c$  - signalning maksimumdan minimumgacha bo'lgan amplitudasi (mm),  $f_c$  - kanalning sezgirligini hisobga oluvchi koeffitsienti.



5-rasm. Vibrator ishga tushirilganda temirbeton qoziq va qoziqdan 15 sm uzoqlikda gruntga turgan SM-3 tadchikdagi tebranishlarning seysmogrammasi





6-rasm. Vibrator o'chirilganda temirbeton qoziq va qoziqdan 15 sm uzoqlikda gruntida turgan SM-3 tadchikdagi tebranishlarning seysmogrammasi

Seysmogrammalardagi amplitudalarning qiymati quyidagi 2-ifoda orqali topiladi.

$$A = A_{\max} - A_{\min}, \quad (2)$$

bu yerda  $A_{\min}$  - seysmogrammadagi amplitudaning eng kichkina qiymati (mm),  $A_{\max}$  - seysmogrammadagi amplitudaning eng katta qiymati (mm).

Mobil muhandislik seysmometrik stansiyasi (MMSS) yordamida olingan qiymatlar kilibrlash natijasida kuchaytirish koeffitsientining qiymati 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Kuchaytirish koeffitsientining qiymati

Kuchaytirish koeffitsienti	1-kanal	2-kanal
$f_c$ V/mm	$f_{c1}=630$	$f_{c2}=654$

### 3. Xulosa

Bajarilgan nazariy va eksperimental tadqiqotlarning natijalarini qayta ishlab chiqish orqali, yer polotnosi va ko'priq qirg'oq tayanchlari tutashgan zonasida ko'tarmani temirbeton qoziq bilan mustahkamlash natijasida ko'tarma gruntlari tebranishlarining amplitudasi kamayadi, yer polotnosi xususiy tebranishlarining davri 18% ga, vibrotezlik hamda vibrotezlanish tegishli 12% va 15% kamaydi. Buning natijasida, tebranishlarning logarifmik dekrementi 20% gacha kamayishi aniqlandi.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Зиннуров Т.А. Современные конструкции опорных частей и деформационных швов. Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2018. – 33с.

[2] Ovchinnikov I.G., Ratkin V.V., Makarov V.N., Piskunov A.A. Deformation seams of road bridges: textbook. manual / I. G.-Kazan: KGSA, 2003. - 137 c.

[3] Mekhmonov M.Kh., Makhamadjonov Sh.Sh. Determination of the working condition of the transition sections on the approaches to the bridges // European Journal of Research Development and Sustainability, ISSN: 2660-5570, Volume-3, Issue 11, November 2022. pp. 63-66.

[4] Абдужаббаров А.Х., Захаров И.Б. Повышение надежности и снижение стоимости искусственных сооружений железных дорог в горной местности. КАЗ.АТК. Алматы, 2004.с 90-92.

[5] Абдужаббаров А.Х. Результаты исследования колебаний земляного полотна дорог: Вопросы механики АН УзССР. Фан – 1970 №6, с. 148-152.

[6] Справочник по земляному полотну эксплуатируемых железных дорог. М. Транспорт, 1972-766с.

[7] Рекомендации по проектированию земляного полотна дорог в сложных инженерно-геологических условиях. М. ЦНИИС, 1974-260с.

### Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

Mehmonov  
Mashhurbek  
Husen o'g'li/  
Mekhmonov  
Mashhurbek  
Khusen ugli

Toshkent davlat transport universiteti dotsenti, t.f.f.d. (PhD)  
E-mail: [m.mehmonov90@mail.ru](mailto:m.mehmonov90@mail.ru)  
Tel.: +998943621900  
<https://orcid.org/0000-0002-1230-5552>

## Fine-grained basalt-fiber concrete for reinforced concrete structures of formwork-free production

V.M. Soy<sup>1</sup>, U.Z. Shermukhamedov<sup>1</sup>, N.R. Mukhammadiev<sup>1</sup> <sup>a</sup>, Vang Meng<sup>1</sup>, Zhao Yue<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** Concrete mix for the production of precast concrete structures for the construction of buildings and structures for housing, public, industrial and transport purposes, containing cement, crushed stone, sand, chemical additive - superplasticizer C-3, still bottoms of the production of Na-carboxymethyl cellulose (KOH), mineral filler and water, as a chemical additive is used superplasticizer based on polycarboxylate esters MasterGlenium ACE 430, and as a mineral filler - basalt fibers with a diameter of 17  $\mu\text{m}$  and a length of 6-12 mm with the following ratio of components, wt.

**Keywords:** Superplasticizer, concrete mixture, specific surface area, water requirement, mineral filler, naphthalene sulfonates C-3, basalt fibers, portland cement

### 1. Introduction

The invention relates to the field of the building materials industry and can be used in the preparation of concrete mixtures for the manufacture of precast concrete and reinforced concrete structures.

Concrete mixtures are known that contain: cement, crushed stone, sand, superplasticizer, mineral additives and water [1,2]. In these concrete mixtures, fly ash from thermal power plants and screenings from crushed granite rocks are used as mineral additives. The use of these mineral fillers reduces the consumption of cement in concrete, but they are expensive, since their production and delivery require large energy and transport costs. In addition, fly ash is a man-made waste obtained from burning coal in thermal power plants, as a result of which it does not have a stable composition and properties, which certainly has a negative effect on the quality of the resulting concrete.

### 2. Research methodology

A concrete mixture is known that contains the following components, wt.%: cement - 17.41-18.37, crushed stone - 40.79-41.42, sand - 32.22-32.64, superplasticizer C-3 - 0.098-0.110, mineral filler - 0.96-1.91, water - the rest [3], where dusty waste from the production of asphalt concrete, formed during the heating and drying of fillers and captured by the aspiration system (finely dispersed mineral product of gas purification - TMPG), is used as a mineral filler.

The disadvantage of this composition of the concrete mixture is that the mass use of mineral filler TMPG in construction is not possible, since this mineral filler is used mainly for the preparation of asphalt concrete. In addition, the introduction of TMPG into the composition of concrete will contribute to a sharp increase in the water demand of the concrete mixture and, as a consequence, a significant decrease in the strength of the concrete.

A concrete mixture is known that contains the following components, wt.%: cement - 17.41-18.37, crushed stone - 40.79-41.42, sand - 32.22-32.64, superplasticizer C-3 - 0.098-0.110, mineral filler - crushed concrete scrap to a specific surface of 2200-2500  $\text{cm}^2/\text{g}$  - 0.96-1.91, water - the rest [4]. The disadvantage of this concrete mix composition is that obtaining a mineral filler in the form of concrete scrap

crushed to a specific surface of 2200-2500  $\text{cm}^2/\text{g}$  requires significant energy costs associated with the processes of crushing and grinding solid construction waste, which will significantly reduce the efficiency of using this mineral additive in the concrete. In addition, the high degree of dispersion of the mineral filler leads to a significant increase in the water demand of the concrete mix, and this, as is known, contributes to an increase in the porosity of concrete and, as a consequence, is the reason for insufficiently high strength and frost resistance of concrete.

The closest in its essence, i.e. the prototype of the invention, is a concrete mixture containing the following components, wt.%: cement - 13.64-17.29, crushed stone - 40.84-41.16, sand - 32.00-32.43, superplasticizer C-3 - 0.049-0.054, still bottoms of the production of Na-carboxymethylcellulose (KOH) - 0.049-0.054, mineral filler - 1.91-5.81, water - the rest [5], where zeolite-containing rock crushed to a specific surface of 2500-3000  $\text{cm}^2/\text{g}$  is used as a mineral filler. The disadvantages of the prototype are the relatively low rates of the concrete mix hardening process, which leads to an increase in the time it takes to gain the stripping strength of concrete and a decrease in the turnover of forms in the production of factory-made structures, as well as relatively low: concrete compressive strength and frost resistance of concrete.

The aim of the invention is to ensure acceleration of the concrete mix hardening process, increase the tensile strength and frost resistance of concrete.

The stated goal is achieved by the fact that in the composition of the concrete mix, including cement, crushed stone, sand, a chemical additive - a superplasticizer based on naphthalene sulfonates C-3, still bottoms of the production of Na-carboxymethyl cellulose (KOH), a mineral filler and water, a superplasticizer based on MasterGlenium ACE 430 polycarboxylate esters is used as a chemical additive, and basalt fibers with a diameter of 17  $\mu\text{m}$  and a length of 6-12 mm are used as a mineral filler with the following ratio of components, wt.%.

### 3. Results and discussion

The effect of using MasterGlenium ACE 430 as a superplasticizer in a concrete mix is that the molecules of this superplasticizer are quickly adsorbed on the surface of

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0004-2390-6961>



cement particles and promote accelerated dispersion of the latter due to electrostatic and steric repulsion forces. The molecular structure of the polymers of polycarboxylate ethers of the MasterGlenium ACE 430 superplasticizer has a significant effect on the strength of concrete at the early stages of hardening. The unique molecular structure of the MasterGlenium ACE 430 superplasticizer promotes a multiple increase in the contact surface of cement particles with water compared to the molecules of the C-3 superplasticizer, which completely cover the cement surface and prevent water from accessing them, slowing down the hydration process of the cement binder. As a result of the effect of the MasterGlenium ACE 430 superplasticizer molecules on the cement binder particles, an earlier release of hydration heat, acceleration of hydration product formation, and, as a consequence, an earlier increase in the strength of cement concrete are observed. The introduction of basalt fiber into the concrete as a micro-reinforcing mineral additive helps to increase the resistance of concrete to deformations without destruction in the most critical period of hardening, i.e. in the first 2-6 hours after laying the concrete mix. In addition, basalt fiber in the composition of cement concrete takes on tensile stresses from external loads and significantly increases the tensile strength of concrete. The positive effect on the frost resistance of concrete when using basalt fiber should be associated with the involvement of a certain amount of air bubbles by the fiber, which allow free water in the concrete structure to expand and contract in cycles of alternate freezing and thawing.

In the conducted studies for scientifically substantiated selection of modifiers of multicomponent concrete the criterion "indicator of reduced hydration activity" P<sub>pga</sub> proposed by Doctor of Technical Sciences Tsoi V.M. was used, which allows to estimate with a high degree of accuracy the contribution of surface activity of mineral fibrous fillers to the course of processes of interactions and transformations occurring in the hydratable environment of cement systems. For the mineral fillers accepted for the study, the calculation of the criterion of reduced hydration activity P<sub>pga</sub> in Table 1. Comparative analysis of mineral fibrous fillers by the criterion P<sub>pga</sub> allows to predict their efficiency in cement systems and characterize them by the degree of activity.

Table 1

**Value of the P<sub>pga</sub> criterion and the modulus of elasticity and strength for mineral fibrous fillers**

№ P / P	Name of mineral filler	Transf ormed datae		Criterion P <sub>pga</sub>	Modulus of elasticity, MGPa	Strength, GPa
		0,33P <sub>o</sub>	0,1 P <sub>ol</sub>			
1	Glass fiber	2,65	0,87	12,7 7	80	5. 0
2	Basalt fiber	7,72	1,12	30,7 1	70	2. 0
3	Quartz fiber	33,68	1,26	59,4 4	75	3. 6

In order to link the methodology for selecting the optimal composition of multi-component concretes to the technology of formwork-free molding of products, we proposed to use the P<sub>pga</sub> criterion as a methodological approach to selecting a fibrous filler.

In our studies, the issue of adhesion between mineral fibrous fillers and cement binders was studied using the

above methodology. It can be assumed that mineral fibrous fillers with a higher indicator of reduced hydration activity P<sub>pga</sub> will exhibit the greatest activity towards cement and its hydration products.

The results of the study of the adhesion of mineral fillers to cement stone, fully confirm the above assumptions. Moreover, a clearly expressed relationship is observed between the P<sub>pga</sub> values of mineral fibrous fillers and the processes of structure formation in the contact zone "binder-fibrous filler". A correlation analysis was also carried out between the adhesion value in the contact zone "binder-fibrous filler" and the index of reduced hydration activity P<sub>pga</sub> using the standard Excel program, Fig. 1.

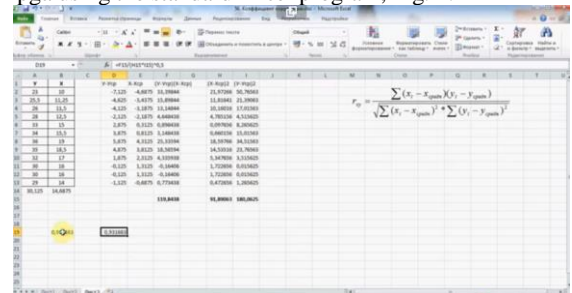


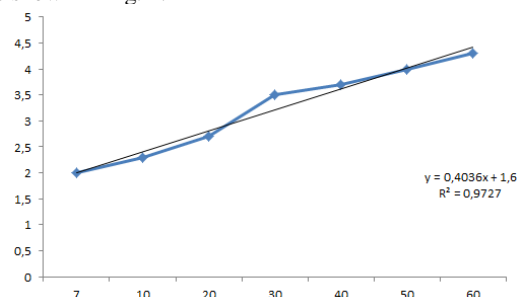
Fig. 1. Correlation analysis using Excel

According to Fig. 1. the correlation coefficient is 0.93.

Based on the results of the correlation analysis, a relationship was found between the adhesion values in the contact zone "binder-fibrous filler" and the P<sub>pga</sub> criterion, which is expressed by the equation:

$$y = 0,4036x + 1,6 \quad (1)$$

Graphical dependencies between the studied parameters are shown in Fig. 2.

Fig. 2. Graphical dependence between the adhesion value and the P<sub>pga</sub> criterion

Thus, the declared composition of the concrete mixture has novelty and an inventive step, since during the search of sources of patent and scientific and technical documentation, the applicant did not identify technical solutions similar to the solutions for the proposed invention.

To experimentally verify the declared composition of the concrete mixture, comparative studies were conducted on two competing compositions (the prototype and the proposed composition).

According to the prototype, the concrete mixture was prepared as follows. The zeolite-containing rock crushed to a specific surface area of 2500 cm<sup>2</sup>/g was mixed with cement until homogeneous for 45-60 s, after which this mixture was added to the pre-mixed crushed stone and sand. Then 2/3 of the mixing water was added to the mixer together with an aqueous solution of superplasticizer C-3 and the mixture was mixed for 60-90 s, then the remaining water was added and the final mixing of the mixture was performed. The declared composition of the concrete mixture was prepared as follows. Basalt fiber with a



diameter of 17  $\mu\text{m}$  and a length of 12 mm was mixed with cement until homogeneous for 45-60 s, after which the pre-mixed crushed stone and sand were added to this mixture. Next, 2/3 of the mixing water was added to the mixer together with an aqueous solution of the MasterGlenium ACE 430 superplasticizer and still residues from the production of Na-carboxymethylcellulose (KOH) in the ratio specified in the application (1:1), the mixture was mixed for 60-90 s, then the remaining water was added and the final mixing of the mixture was performed.

**Table 2**  
**Ratio of components of concrete mixtures and obtained results of tests of concrete mixture samples and concrete specimens**

Type of superplasticizer and mineral filler	Degree of cement filling, %	Concrete mix composition: numerator – kg per 1 m <sup>3</sup> of mix, denominator – wt. %						Compressive strength
		Cement	Filler	Sand	Crushed stone	Superplasticizer	JOM	water
Superplasticizer C-3, zeolite-containing rock	10	416/17,29	46/1,91	780/32,43	990/41,16	1,31/0,054	1,31/0,054	170/7,07
	20	370/15,49	92/3,85	770/32,24	978/40,95	1,25/0,052	1,25/0,052	175/6,86
	30	324/13,64	138/5,81	760/32,00	970/40,84	1,17/0,049	1,17/0,049	180/7,07
Superplasticizer MasterGlenium ACE 430, basalt fiber	2	461/19,16	1,00/0,04	780/32,43	990/41,16	1,31/0,054	1,31/0,054	170/7,07
	3	460/19,10	1,60/0,06	770/32,00	978/40,95	1,25/0,052	1,25/0,052	172/7,16
	4	459/19,04	2,20/0,10	760/31,50	970/40,24	1,17/0,049	1,17/0,049	175/7,27

The following were used in the experimental studies: Portland cement grade CEM0 52.5N produced by JSC Akhangarancement (GOST 31108-2020), coarse aggregate - crushed stone of fraction 5-10 mm from the Eyvalek quarry, with an average density of 1400 kg / m<sup>3</sup> (GOST 26633-2012), fine aggregate - river quartz sand from the May quarry with a fineness modulus Mkr = 0.68 and an average density of 2000 kg / m<sup>3</sup> (GOST 26633-2012), basalt fiber with a diameter of 17  $\mu\text{m}$  and a length of 6-12 mm produced by JV LLC MEGA INVEST INDUSTRIAL (Jizzakh region), polycarboxylate superplasticizer MasterGlenium ACE 430, produced by BASF (Germany), which is a cloudy beige liquid with a density 1.06±0.02 g/cm<sup>3</sup>, zeolite-containing rock of the Beltau deposit (Navoi region).

The obtained concrete mixtures were used to form standard-size 15x15x15 cm cube samples in the amount of 6 pieces for compression testing. The samples were stored under normal temperature and humidity conditions for 28 days, after which they were tested for compression. (GOST 28570-90). Frost resistance of concrete was determined using the standard method according to (GOST 10060.1-95).

The ratio of concrete mixture components and the obtained sample test results are given in Table 2.

## 4. Conclusion

The analysis of the obtained results (Table 1) shows that for the proposed composition of the concrete mix in all 3 examples there is an increase in the compressive strength of concrete compared to the composition of the concrete mix according to the prototype by 15-20%. At the same time, the increase in the strength of concrete in the early stages of hardening (1 and 3 days) also exceeds the indicators by an average of 10-15%. The tensile strength of concrete obtained according to the proposed composition exceeds the indicators of concrete according to the prototype by 1.8-2.0 times, and the frost resistance of concrete increases by 50%. In addition, the energy costs required to obtain mineral filler from zeolite-containing rocks are reduced, since grinding zeolite-containing rocks to a specific surface of 2500-3000 cm<sup>2</sup>/g requires grinding them in the most common ball mills for at least 1 hour. Thus, the proposed composition of the concrete mixture allows for the full achievement of the set goals: ensuring acceleration of the hardening process of the concrete mixture, increasing the tensile strength and frost resistance of the concrete.

## References

- [1] Dvorkin, L., Konkol, J., Marchuk, V., & Huts, A. (2023). Efficient, Fine-Grained Fly Ash Concrete Based on Metal and Basalt Fibers. *Materials*, 16(11), 3969.
- [2] Li, Y., Zhang, J., He, Y., Huang, G., Li, J., Niu, Z., & Gao, B. (2022). A review on durability of basalt fiber reinforced concrete. *Composites Science and Technology*, 225, 109519.
- [3] Sim, J., & Park, C. (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites Part B: Engineering*, 36(6-7), 504-512.
- [4] Jalasutram, S., Sahoo, D. R., & Matsagar, V. (2017). Experimental investigation of the mechanical properties of basalt fiber-reinforced concrete. *Structural Concrete*, 18(2), 292-302.
- [5] Krayushkina, K., Khymeryk, T., & Bieliatynskiy, A. (2019, December). Basalt fiber concrete as a new construction material for roads and airfields. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 708, No. 1, p. 012088). IOP Publishing.
- [6] Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М. Дисперсно-армований бетон – надійний та ефективний матеріал для транспортного будівництва (продовження). *Транспортне будівництво України*. 2011. № 5. С. 16–20. 5.
- [7] Bentz D. P., Snyder K. A., Ahmed A. Anticipating the setting time of high-volume fly ash concretes using electrical measurements: feasibility studies using pastes. *Journal of Materials in Civil Engineering*. Vol. 27. 2015. 6.
- [8] Ren W. Dynamic compressive behavior of basalt fiber reinforced concrete after exposure to elevated temperatures. *Fire and materials*. 2015. 7.
- [9] Lim Y.-C., Noguchi T., Cho C.-G. A quantitative analysis of the geometric effects of reinforcement in concrete resistivity measurement above reinforcement.





Construction and Building Materials. 2015. Vol. 83. P. 189–193. 8.

[10] Hong, G. H., & Shin, Y. S. (2003). Structural performance evaluation of reinforced concrete beams with externally bonded FRP sheets. Journal of the Korea Concrete Institute, 15(1), 78-86.

[11] Vladimir Tsoy, Firuza Karimova, Ne'matjon Mukhammadiyev and Jambul Turgayev. Parameters of the oscillatory process of the sleeper base in the area of the rail joint when using elastic spacers. E3S Web of Conferences 401, 05078 (2023) Connechydro – 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105078>.

[12] Tsoy, V., Abdullaeva, D., Mukhammadiyev, N., Influence of silica-containing additives on structure formation of composite cement binder for non-autoclaved aerated concrete, International Scientific and Practical Conference on Problems in the Textile and Light Industry in the Context of Integration of Science and Industry and Ways to Solve Them, PTLICISIWS 2023, <https://doi.org/10.1063/5.0197488>.

## Information about the author

**Soy V.M.** Construction of buildings and industrial facilities, Tashkent State Transport University, Tashkent  
E-mail: [Volodya\\_tsoy@inbox.ru](mailto:Volodya_tsoy@inbox.ru)

**Shermukhammedov U.Z.** Bridges and tunnels, Tashkent State Transport University, Tashkent  
E-mail: [ulugbekjuve@mail.ru](mailto:ulugbekjuve@mail.ru)

**Mukhammadiyev N.R.** Construction of buildings and industrial facilities, Tashkent State Transport University, Tashkent  
E-mail: [nemat.9108@mail.ru](mailto:nemat.9108@mail.ru)

**Vang Meng** Construction of buildings and industrial facilities, Tashkent State Transport University, Tashkent  
E-mail: [810463989@qq.com](mailto:810463989@qq.com)

**Zhao Yue** Construction of buildings and industrial facilities, Tashkent State Transport University, Tashkent  
E-mail: [zhaoyueleo@mail.ru](mailto:zhaoyueleo@mail.ru)



# Development of a fine-grained basalt fiber concrete composition for the carriageway structures of reinforced concrete highway bridges

V.M. Soy<sup>1</sup>, N.R. Mukhammadiev<sup>1</sup><sup>a</sup>, G.B. Malikov<sup>1</sup><sup>b</sup>, Guo Tianyu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This article is devoted to the study of the physical, mechanical, and operational properties of complexly modified concrete, developed for the structures of the roadway of reinforced concrete highway bridges. Basalt fiber and hydrophobic additives were used as components of concrete composition. Based on the developed composition, samples were created and experimental tests were conducted. Control samples were also used in the experimental work, and the obtained results were compared.

**Keywords:** Basalt fiber, superplasticizer, hydrophobic additive, water permeability, strength, frost resistance

## 1. Introduction

Concretes with high performance properties include high strength, low permeability, high corrosion resistance and durability, and concretes with compensated (somewhat restored) shrinkage and expansion, i.e. their combination or the dominance of one of them ensures high strength of structures, depending on the operating conditions.

Preventing the occurrence of cracks and erosion in concrete or reducing the degree of influence on the material properties is achieved by using dispersion-reinforced concretes.[66] The use of such composites allows successfully solving a number of specialized problems: strengthening bridge structures, elements of airfields and hydraulic structures, etc.

Concrete used for the carriageway structures of reinforced concrete highway bridges must meet the requirements for strength, durability and operational reliability. That is, concrete must be resistant to compression (not lower than B30), frost resistance (F200-F300), water resistance (W6-W20) and various other chemical influences.

Obtaining effective building materials and products, which are increasingly demanding today, can be achieved by using technologies using composite materials. One of the promising construction materials is dispersed reinforced concrete. The fiber in the composition of dispersed reinforced concrete is characterized by a matrix with high compressive and flexural strength and significant resistance to elongation and a high modulus of elasticity.

Studying the initial properties of various fibers allows us to select the most effective component for dispersed reinforcement of fine-grained cement concretes, in terms of the ratio of the achieved strength properties and the cost-effectiveness of the designed structural material.

## 2. Results and discussion

Taking into account the above conclusions, a durable fine-grained hydrophobic basalt fiber concrete composition with high operational performance was developed for the carriageway of reinforced concrete highway bridges.

In this case, the optimal amount and size of complex additives for fine-grained concrete were selected, according to which: 10 mm basalt fiber with a diameter of 19 μm,

amount - 3% (of the cement mass); dry hydrophobizer, amount - 0.8% (of the cement mass) and SP, 1.2% (of the cement mass).

Experimental studies were conducted on the basis of the identified compositions, that is, their compressive, flexural, and axial compressive strengths were determined and presented in Table 1. In this case, the control sample (1) and the sample based on the developed composition (2) were compared.

**Table 1**

**Optimized composition of modified concrete**

№	Sarf		S/ Sem	Bazalt tolasi (10mm), % (sem.)	G	SP	Siqilishda gi mustahka mlik chegarasi, MPa	Egillish dagi mustah kamlik chegara si, MPa	O'q bo'y lab siqishga (kgk/sm <sup>2</sup> )	Bet sin
	Sement	Qum								
1	583	1422	0,41	-		1,2	40,5	3,5	178	B3
2	551	1374	0,38	3	0,8	1,2	57,5	6,5	197	B3

Based on the data in Table 1, it can be concluded that the strength indicators determined in the sample based on the new composition were higher than those in the control sample.

The improvement of operational performance of basalt fiber and hydrophobic additives in the composition has been cited in the literature. These in consideration received without complex modified basalt fiber concrete exploitative features Let's find out .

Fine-grained basalt fiber concrete should have high strength, frost resistance, and water resistance properties, as basalt fiber evenly distributes the material matrix and increases the number of closed pores.

### 1. Water permeability determination

Water not to transfer to GOST 12730.5- 2018 Rated according to " Wet Stain " Samples size Ø=15cm, h=15cm. Experiment test from soups taken The results are presented in Table 2 .

After the test, the samples were divided and the water penetration depth was determined. According to the test results shown in Table 2, the waterproofing grade of the experimental composition is characterized by the waterproofing grade W16.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0004-2390-6961>


<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3691-1079>



Table 2

**Results of determining the water resistance of the control composition with hydrophobizer and optimized composition**

Tarkibi	S/Sem	Suvning bosimi, (MPa)	Suv o'tkazmaslik markasi (W)
1	0,41	0,4	W-4
		0,6	W-6
		0,6	W-6
2	0,38	1,6	W-16
		1,6	W-16
		1,4	W-14

### 2. Research on the cold tolerance of complex modified basalt fiber concrete.

Frost resistance was assessed by the "second method" in accordance with GOST 10060 — 2012. The size of the samples was 10x10x10 cm. The results of the experimental tests are presented in Table 3.

Table 3

**Performance characteristics of fine-grained modified concrete**

№	Sarf		Siqilishda gi mustahkamlik chegarasi, MPa	Egillishdagi mustahkamlik chegarasi, MPa	O'q bo'ylab siqishga (kgk/sm <sup>2</sup> )	Sovuqqa chidamlilik	Suv o'tkazuvchanlik	Beton sinfi
	Sement	Qum						
1	583	1422	40,5	5,5	182	F 300	W6	B35
2	551	1374	57,5	6,8	194	F400	W16	B35

### 3. Indentation deformation of fine-grained basalt fiber concrete.

The tests were carried out on samples measuring 40x40x160 mm. Deformations were measured based on 160 mm. Calculations were taken after 1 day. We take into account the tests at 3, 7, 14 days and 28 days until the end of the test. The calculation formula for the deformation change:

$$\varepsilon = \Delta / l_1$$

here:

$\Delta$ — change in length

$l_1$ — initial length

The test results obtained on the creep deformation of the control and basalt fiber concretes show that basalt fiber reduces creep deformations, especially in the first seven days of hardening. The average creep deformation determined by the test results of six samples is  $1.06 \times 10^{-4}$  mm for the control composition 1 and has changed by -6.94% compared to the initial value, and for basalt fiber concrete with 2 compositions it is  $0.86 \times 10^{-4}$  mm and has changed by -5.79%.

## 3. Conclusion

Transferred research this showed that the concrete of strength increase and structure one diversity basalt of fibers cement in the system equal to spread related. Their chaotic distribution cement on the stone open pores to the intersection take comes and open pores number to decrease and of the material general porosity to decrease help This gives and, his in turn, basalt fiber concrete main exploitative indicators noticeable at the level to increase help gives.

Complex of additions optimal in quantity addition as a result complex modified small granular of concrete operational indicators to freeze durability F400, water transfer W16 indicators simple to concrete relatively improvement determined.

## References

- [1] ГОСТ 25192-2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования
- [2] ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости
- [3] ГОСТ 12730.5-2018 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости
- [4] Модифицированные бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. ООО «Предприятие Мастер Бетон». НИИЖБ и Центр модифицированных бетонов <http://www.master-concrete.com/> <http://www.master-concrete.com/concrete.htm>. 53. Soy V.M., Mukhammadiev N.R., Мелкозернистый базальто-фибробетон для железобетонных конструкций безопалубочного производства // Молодой ученый. Международный научный журнал № 47 (546) / 2024, 49-53 с
- [5] Махаматалиев И.М., Мухаммадиев Н.Р., Белинский Е.О., Умаров К.С., Гашимов Р.Р. «Способ изготовления железобетонных предварительно напряженных балок пролетных строений мостов» Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Патент на изобретение IAP № 07372 от 17.04.2023 г.
- [6] Махаматалиев И.М., Мухаммадиев Н.Р., Белинский Е.О., Умаров К.С., Гашимов Р.Р. «Бетонная смесь» Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Патент на изобретение IAP № 07520 от 19.10.2023 г.
- [7] Горчаков Г.И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г.И. Горчаков, М.М. Капкин, Б.Г. Скрамтаев. — М.: Стройиздат, 1965. — 196 с.
- [8] Адилходжаев, А. И., Махаматалиев, И. М., Цой, В. М., Худоёров, А. А., & Ильясов, А. Т. (2023). МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОН НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ. Journal of Academic Research and Trends in Educational Sciences, 224-229.
- [9] Бабаев, В.Б. Рассмотрение возможности использования в качестве микроармирующего компонента в дорожном цементобетоне базальтового волокна / В.Б. Бабаев, А.В. Кнотко, А.В. Гаршев // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): материалы Междунар. науч.-практич. Конф. - Белгород, 1-3 марта 2011 г.-Белгород, 2011. - Ч. 4. - С. 25-27.
- [10] Адилходжаев А. И. и др. Прогнозирование эффективности введения минеральных наполнителей в цементные композиты // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. — 2019. — №. 1. — С. 105-112.
- [11] Muxammadiyev N.R., Malikov G.B., Analysis of the physical and mechanical properties of fine-grained concrete with superplasticizers and hydrophobic additives // Journal of transport scientific-technical and scientific innovation journal VOLUME 1, ISSUE 1 MARCH 2024. 9-12 p.
- [12] Muxammadiyev N.R., Malikov G.B., Kompleks modifikatsiyalangan bazaltfibrobetonning fizikmexanik

xususiyatlarini tadqiq qilish // Arxitektura. Qurilish va  
Dizayn jurnali, Vol.19, Issue2, September 2024. 192-195 b.

### Information about the author

**Soy V.M.** Construction of buildings and  
industrial facilities, Tashkent State  
Transport University, Tashkent  
E-mail: [Volodya\\_tsoy@inbox.ru](mailto:Volodya_tsoy@inbox.ru)

**Mukhamma-  
diev N.R.** Construction of buildings and  
industrial facilities, Tashkent State  
Transport University, Tashkent  
E-mail: [nemat.9108@mail.ru](mailto:nemat.9108@mail.ru)

**Malikov G.B.** Bridges and tunnels, Tashkent State  
Transport University, Tashkent  
E-mail: [ganisherm@inbox.ru](mailto:ganisherm@inbox.ru)

**Guo Tianyu** Construction of buildings and  
industrial facilities, Tashkent State  
Transport University, Tashkent  
E-mail: [nemat.9108@mail.ru](mailto:nemat.9108@mail.ru)



## Energy analysis of concrete setting process

Z. Kakharov<sup>1</sup>, R. Ashimov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

**Abstract:** Determinations of the energy value of sand concrete in the process of concrete setting. Methods: Method of testing concrete with ball indenters based on the patterns of interaction between the surface of concrete and the ball pressed into it. Results: Calculations of concrete and reinforced concrete structures by static loading, the critical value of the amplitude of vibrations, the energy level of the system, when the destruction of bonds between concrete particles begins. Practical significance: The conducted research allows to conclude that the mass of concrete at fracture acquires a critical value  $m_0/e$ , and in the undestroyed state its value  $em_0$  is  $e$  times greater when interacting with an indenter than at press fracture.

**Keywords:** cement, aggregate, fraction, concrete, concrete setting, concrete mass, concrete compression, specimen testing, vibration amplitude, critical level

## Энергетический анализ процесса схватывания бетона

Кахаров З.<sup>1</sup>, Ашимов Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан

**Аннотация:** Определения энергетического значения песочного бетона в процессе схватывания бетона. Методы: Метод испытания бетонов шаровыми инденторами, основанными на закономерностях взаимодействия поверхности бетона и вдавливаемого в нее шара. Результаты: Расчеты бетонных и железобетонных конструкции статической нагрузкой, определен критическое значение амплитуды колебаний, энергетический уровень системы, когда начинается разрушение связей между частицами бетона. Практическая значимость: Проведенный исследований можно заключить, что масса бетона при разрушении приобретает критическое значение  $m_0/e$ , а в неразрушенном состоянии ее значение  $em_0$  в  $e$  раз больше при взаимодействии с индентором, нежели при разрушении прессом.

**Ключевые слова:** цемент, заполнитель, фракция, бетон, схватывание бетона, масса бетона, сжатия бетона, испытания образцов, амплитуда колебания, критический уровень

### 1. Введение

Бетон – один из самых распространенных строительных материалов. Это камень искусственного происхождения, получаемый путем формования и затвердения смеси цемента, заполнителя и воды с добавлением различных ингредиентов для улучшения эксплуатационных свойств конечного продукта. От соотношения и особенностей компонентов для производства бетона зависят характеристики бетона.

Расчет бетонных и железобетонных конструкций требует особого подхода в связи со специфическими свойствами материалов. Ничтожное сопротивление бетонов растягивающим усилиям вынуждает вводить в конструкции железную арматуру, подвергаемую предварительному напряжению на растяжение.

Расчеты бетонных и железобетонных конструкций следует производить на все виды нагрузок, отвечающих функциональному назначению зданий и сооружений, с учетом влияния окружающей среды (климатических воздействий и воды - для конструкций, окруженных водой), а в необходимых случаях - с учетом особых воздействий.

### 2. Методология исследования

**Материалы.** Процесс приготовления бетона состоит из дозирования компонентов, перемешивания смеси, укладка и уплотнения вибраций.

Основные компоненты для изготовления бетона – цемент (вяжущее), заполнитель, вода.

Цемент – это основа стройматериала, он связывает остальные ингредиенты и присутствует в составе бетона практически всех марок, иногда его заменяют известью. Основное сырье для его изготовления – клинкер, гранулы из смеси известняка и глины. В зависимости от состояния сырья есть три способа их измельчения – сухой, мокрый и комбинированный. Основные характеристики материала: прочность, фракция, морозоустойчивость, скорость отвердевания.

Заполнитель по размеру фракций делится на крупный, средний и мелкий. В качестве первых двух чаще всего используется гравий и щебень, применяются и другие природные материалы, а также искусственные аналоги, например, керамзит.

Практика установила нормы и технологию процесса с теоретическими обоснованиями, опирающимися на значения таких констант, как продолжительность схватывания ( $t=28$  суток и др.), временное сопротивление образцов сжатию ( $R=50$  МПа и др.),





плотность массы и др.

Характерно, что в установленных нормах явно чувствуется влияние основания натуральных логарифмов  $e=2,7182\dots$  (вес образца  $103\text{см}^3 - 2,2\text{кг}$ , продолжительность первого периода схватывания – 3 суток и др.).

Процесс твердения бетона — комплексная химическая реакция, в которой во время контакта минералов с водой запускается процесс гидратации. В результате присоединения молекул воды к клинкерным частицам образуется твердое монолитное вещество.

Затвердевание бетона — главный и самый ответственный этап формирования ж/б конструкции. Во время реакции твердения происходит окончательное превращение сухого раствора, соединенного с водой, в монолитный материал, который похож по прочности на камень.

В процессе схватывания бетона совершается переход химической энергии, освобождающейся при взаимодействии цемента с водой, в присутствии тепловой энергии, в механическую, создающую связи между частицами минеральных материалов (щебня, песка и др.) и превращающую смесь в монолитное состояние.

**Методы.** Процесс схватывания бетонов продолжается бесконечно долго, что свидетельствует о непрерывном развитии в нем сил взаимного притяжения частиц. Амплитуда собственных колебаний бетона затухает во времени по закону  $\alpha = \alpha_0 e^{-at}$  при коэффициенте поглощения энергии  $\alpha$  и начальном значении амплитуды  $\alpha_0$  при постоянной частоте  $\nu_0$ . Передача напряжений  $\alpha$  поверхности бетона ( $R$ , Па) вглубь совершается по такому же закону  $R = R_0 e^{-ah}$  Па, и с увеличением массы бетона, воспринимающей давление при увеличении ее  $h$ , напряжения быстро затухают, что делает бетон незаменимым при устройстве оснований и фундаментов.

Механизм процесса схватывания бетонов до сих пор не раскрыт, что можно объяснить непригодностью применяемых методов исследования. Наиболее эффективный метод основан на волновых свойствах бетонов, устанавливающих частоты и амплитуды колебаний в различных условиях сопротивления бетонов внешним воздействиям.

Энергетический анализ процесса схватывания бетона приводит к выводу, что в связи с образованием связей между частицами энергетический уровень увеличивается с увеличением времени схватывания  $t$  по закону  $\varepsilon_0 = A e^{at}$  при стремлении  $t$  к  $t_0$ , т.е. к установленному времени схватывания. Кроме того, по предыдущим выводам  $\varepsilon_0 = \frac{\delta R_0}{h \gamma}$  стремится на верхнем критическом уровне к  $A e^n$  при критической массе  $e^n = m_0$ . Для готового бетона нижний критический уровень наступает при разрушении  $\varepsilon_0 = \frac{A}{e^n}$ .

Для бетонного образца – кубика  $103\text{ (см}^3\text{)}$  весом  $2\text{ кг}$  при марке бетона  $R=5000\text{ Н/см}^3$  в первом приближении  $\varepsilon_0 = \frac{0,1}{0,002} \cdot 5000 = 25000\text{ Н} \cdot \text{см/кг}$ ,  
 $e^n A = m_0 A = 2 \cdot 25000 = 500\text{ Дж/кг}$  ( $=50000\text{ Н} \cdot \text{см/кг}$ ),  
 $\frac{A}{m_0} = \frac{25000}{2} = 12500\text{ Дж/кг}$ .

Если масса образца принята  $m_0 = e = 2,72\text{ кг}$  при  $R=5000\text{ Н/см}^3$   $e^n A = 670\text{ Дж/кг}$  и  $\frac{A}{e} = 92\text{ Дж/кг}$ .

Арматура, создающая в бетоне предварительное напряжение осевому сжатию, повышает

энергетическую константу  $A$  (Дж/кг), и при  $A = 670$  нижний критический уровень  $92$  повышается до  $250$ , верхний – до  $e^3 A = 13400\text{ Дж/кг}$ . От этого статического расчета, в основе которого лежит допускаемое напряжение в материалах, необходимо переходить к динамическому, в основе которого лежит энергия колебаний и волн.

Деформация сжатия бетона  $\delta$  (см), измеряемая современными приборами в микронах, соответствует колебаниям на поверхности  $\alpha$  (см) и затухает с глубиной от поверхности по закону  $\delta = \delta_0 e^{-ah}$ .

Энергия колебаний  $\frac{(w\delta)^2}{2}$  не должна достигать верхнего критического уровня, когда возводимое сооружение приходит в колебание и грозит разрушением динамической системы.

Критическое значение амплитуды колебаний соответствует снижению энергетического уровня системы  $A$  до  $\frac{A}{m_0}$  (Дж/кг), когда начинается разрушение связей между частицами бетона.

Испытания образцов бетона разрушением прессами на осевое сжатие не отвечает современным требованиям к расчету конструкций динамическим методами. Бетон в основаниях и фундаментах сооружений, где он сопротивляется внешним воздействиям большой массой, поглощающей все динамические нагрузки на малой глубине от поверхности, попадает в тяжелые условия в верхних строениях, в которых динамические нагрузки вызывают колебания сложных конструкций. Особенно сложна работа бетона в тонких оболочках, армированных сетками и ребрами, образующими нежесткие металлические конструкции.

Большой интерес представляют испытания бетонов шаровыми инденторами, основанными на закономерностях взаимодействия поверхности бетона и вдавливаемого в нее шара.

При диаметре шаровой поверхности  $D$  (см) и глубине вдавливания  $\delta$  (см) под действием вертикальной силы  $F$  (Н) работа прибора выражается произведением  $F\delta$  (Дж), поверхность лунки – контакта бетона с шаром  $\pi D\delta$  (см<sup>2</sup>) и напряжение на поверхности бетона  $R = \frac{F}{\pi D\delta}$ . при этом удельная поверхностная энергия на площади контакта  $R\delta = \frac{F}{\pi D} = C$  – константа прибора, создающего силу  $F$  (Н). Размерность  $C$  (Па·см) отличается от размерности  $R$  (Па) так же, как скаляр отличается от – направлением. Переход от скаляра к поверхности дает скаляр, позволяющий относить его к глубине  $h$  (см), на которой бетон сжимается и деформируется. Силу  $F$  (Н), развиваемую прибором, и диаметр шаровой поверхности  $D$  (см) можно изменить, получая значения деформации  $\delta$  (мкм) в нужных пределах.

### 3. Результаты исследования

Плотность энергии в напряженном бетоне  $\tau_0$  определяет  $\varepsilon_0$  как отношение плотностей энергии и массы  $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{m_0}$ . Исследования со сконструированным индентором показала, что  $R$  и  $\delta$  в отдельности не могут характеризовать прочностные свойства бетонов, а в произведении  $R\delta = C$  каждому значению  $\delta$  соответствует определенное значение



$R = \frac{C}{\delta}$ , значительно более точно, чем определяемому при прессовых испытаниях.

При параллельных испытаниях образцов песочного бетона – кубиков с ребром 7 см (343 см<sup>3</sup>) и массой  $m_0 = 0,7$  кг, при  $\gamma = 0,002$  кг/см<sup>3</sup> прессом, характеризуемым  $R\delta = 180$  Н·см/см<sup>3</sup>, и индентором при  $D = 1,5$  см,  $F = 5000$  Н,  $C = R\delta = 10620$  Н·см/см<sup>3</sup> были определены значения следующих показателей (табл.1.):

Таблица 1

Показатели значений параллельных испытаний образцов песочного бетона

Марка бетона	Константа пресса	Деформации при вдавливании индентора	Сопротивление сжатию бетонных кубиков, Н/см <sup>2</sup>
700	14,7	190-234	45500-56000
600	16,5	250-305	34800-42500
500	18,1	329-403	26400-32400
400	19,9	453-553	19300-23500

Основные показатели  $\delta = 370$  ( $=0,037$  см),  $i = \frac{\delta}{h} = \frac{0,037}{7} = 0,0053$ ,  $\beta = \frac{0,0053}{0,02} = 2,5$  позволяют установить средние значения напряжений при прессовых и инденторных испытаниях:  $R_{пр} = \frac{18}{0,037}$  и  $R_{шар} = \frac{106,2}{0,037} = 30000$  Н/см<sup>2</sup>. При резких колебаниях  $R_{п}$  наблюдалось плавное изменение  $R_{ш}$ .

## 4. Заключение

Из проведенных исследований можно заключить, что масса бетона при разрушении приобретает критическое значение  $\frac{m_0}{e}$ , а в неразрушенном состоянии ее значение  $em_0$  в  $e$  раз больше при взаимодействии с индентором, нежели при разрушении прессом.

Учитывая, что при взаимодействии с прессом образец испытывает осевое, а при вдавливании шара общее сжатие, при делении всех членов на  $\beta = \frac{i}{\gamma} (\approx 2,5)$  можно установить взаимосвязь между напряжениями.

## Использованная литература / References

- [1] Ю.М. Баженов. «Технология бетона». Учебник. -М.: Издательство АСВ, 2002.
- [2] В.Н. Бойков, Э.С. Сигалов «Железобетонные конструкции». Учебник для вузов-5-е изд. Стройизд. 1991
- [3] Djabbarov S., Kakharov Z., Kodirov N. Device of road boards with compacting layers with rollers //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2022. – Т. 2432. – №. 1. – С. 030036. <https://doi.org/10.1063/5.0089679>
- [4] Djabbarov S., Kodirov N. The impact of dynamic load from the wheel on the rail for high-speed trains in Uzbekistan //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 402. – С. 06009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340206009>
- [5] Kakharov, Z., Mirzakhidova, O. (2023). Soil Surface Compaction Analysis During the Construction of Railways and Roads. In: Zokirjon ugli, K.S., Muratov, A., Ignateva, S. (eds) Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East

(AFE-2022). AFE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 706. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-36960-5\\_65](https://doi.org/10.1007/978-3-031-36960-5_65)

[6] Kakharov Z. Mechanisms of the processes of shear, slice, general compression and expansion of mass //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 402. – С. 12007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340212007>

[7] Kakharov Z., Yavkacheva Z. Determination of the bearing capacity of a building and structures of energy facilities //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 371. DOI:10.1051/e3sconf/202337102042

[8] Кахаров З. В., Эшонов Ф. Ф., Козлов И. С. Определение значений энергетических констант материалов при дроблении твердых тел // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2019. – Т. 16. – № 3. – С. 499-504. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-3-499-504

[9] Kakharov Z.V. et al. Requirements for the superstructure of the track on high-speed railways //Eurasian Union of Scientists. – 2021. – no. 4-1. – P. 45-48. <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.85.1325>

[10] G.-A. Khalfin, Kh. Umarov; The work of intermediate rail fasteners on mountain sections of railways. AIP Conf. Proc. 15 March 2023; 2612 (1): 040023. <https://doi.org/10.1063/5.0126396>.

[11] Khalfin G. A. et al. System for determining state of continuous welded track //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 401. – С. 02050. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340102050>

[12] Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лапидус А.А. «Технология строительного производства». Издательство «Высшая школа» -2005

[13] Umarov K. et al. Mathematical model for prediction of cargo flow during the construction of the railway line Uzbekistan-Kyrgyzstan-China //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 401. – С. 03018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103018>.

[14] Umar Chorsanbiev, Ahmadjon Ibadullaev, Durdona Toshpulatova, Askar Babaev and Baxadir Kakharov. Modification of dispersed systems and its effect of the internal corrosion of hydrotransports. E3S Web Conf., 383 (2023) 04032. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338304032>

[15] Xodjiev, N., Juraev, S., Kurbanov, K., Sultonov, S., Axatov, D., & Babayev, A. (2022, June). Analysis of the resource-saving method for calculating the heat balance of the installation of hot-water heating boilers. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2432, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0090455>.

## Информация об авторах / Information about the authors

**Зайтжан Кахаров** Инженерия железных дорог, Ташкентский государственный университет путей сообщения, Ташкент  
E-mail: [zumi1525@mail.ru](mailto:zumi1525@mail.ru)

**Рустам Ашимов** Директор центра по подготовке терминологических словарей и переводов, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан  
E-mail: [zumi1525@mail.ru](mailto:zumi1525@mail.ru)



## Application of geopolymer concrete

A.K. Nazibekov<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The requirement for concrete is growing daily and cement is utilized for meeting the needs of infrastructure facility development. One ton of cement production generates one ton of CO<sub>2</sub>, which negatively impacts the environment. To decrease the utilization of Ordinary Portland Cement and CO<sub>2</sub> generation, innovative next-generation concrete has been created, such as Geopolymer concrete. It employs fly ash and alkaline solution as its Binding Materials. Geopolymer necessitates oven curing in temperature ranges from 60° C to 100° C for a duration of 24 to 96 hours. This paper determined that all investigators have devoted their efforts to demonstrate the influence of Ground Granulated Blast Slag on Geopolymer Concrete. Nevertheless, it should be noted that modifications in parameters like Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH Proportion, Molarity of NaOH, Curing temperature, and Curing time create Variations in the Strength. Substitution of Fly ash with Ground Granulated Blast Slag progressively enhances the Strength without Oven curing provision. An insufficiency of information regarding certain aspects of geopolymerisation has become evident, and the scientific community should concentrate on these gaps.

**Keywords:** Geopolymer Concrete, Sodium, Silicate, Sodium Hydroxide, Fly ash, Ground granular blast furnace slag, Compressive strength, Split Tensile strength, Flexural strength, and Temperature effect

### 1. Introduction

The quest for eco-friendly construction materials is crucial, as the globe faces serious challenges due to environmental deterioration. There exists a considerable expectation on the industry to minimize carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions into the atmosphere. In light of this, one of the endeavors to create environmentally friendly concrete is to diminish the usage of Portland cement by utilizing by-product materials, such as fly ash. It is recognized that manufacturing one ton of Portland cement accounts for approximately one ton of carbon dioxide released into the atmosphere, resulting from limestone decarbonation in the kiln during cement production. A notable advancement in the utilization of fly ash in concrete is the creation of high volume fly ash (HVFA) concrete, which partially substitutes the use of Portland cement in concrete (up to 60%), while preserving excellent mechanical characteristics with enhanced durability performance. Another innovation is geopolymer, i.e., inorganic Alumino-silicates polymer synthesized from minerals of geological origin or by-product materials, such as fly ash, rice husk ash etc., that are abundant in silicon (Si) and aluminum (Al). Fly ash is copiously available worldwide, and attempts to employ it in concrete production are of significant interest to concrete technologists and the industry. Ground Granulated Blast Slag is a waste material generated in iron or slag industries that has a substantial impact on Strength and Durability of Geopolymer Concrete. This document provides a brief examination of the evolution of geopolymer concrete. The elements that affect the production of geopolymer concrete such as source minerals, workability, curing time, and curing temperature are discussed in the paper. The prospective application of geopolymer concrete and the future challenges are also mentioned.

### 2. Research methodology

**Literature Review.** Numerous authors have documented the utilization of Ground Granulated Blast Slag in Geopolymer Concrete for various civil engineering applications.

Abdul Aleem M.I and Arumairaj (2012) attempted to identify an optimal mixture for Geopolymer concrete and fashioned concrete cubes measuring 150 x 150 x 150 mm, subjected to Steam curing for 24 hours based on compressive strength. The ideal blend is Fly ash: Fine aggregate: Coarse aggregate (1:1.5:3.3) with a solution (NaOH & Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> combined together) to fly ash ratio of 0.35. Elevated and swift strength was attained in the Geo-polymer concrete mixture.

Abdul Aleem M.I and Arumairaj P.D (2012) performed a survey review on Geopolymer concrete. They highlighted that due to the high early strength, Geopolymer Concrete could be effectively employed in precast industries, enabling substantial production in brief periods while minimizing breakage during transportation. They exposed the attributes of geopolymer concrete and conveyed that Geopolymer Concrete can substitute ordinary Portland cement concrete.

Balaguru. P (1997) undertook research on employing Geopolymer concrete for Restoration and rehabilitation of reinforced concrete Beams. The chief objective of the investigation was to establish whether Geopolymer can be utilized for concrete repair. They concluded that Geopolymer concrete can be successfully applied to bond carbon fabrics to reinforced concrete beams.

Ganapathi Naidu.P et al (2012) exhibited a Study on strength characteristics of Geopolymer concrete with the addition of Ground Granulated Blast Slag. In this document, an effort was made to examine the strength properties of Geopolymer concrete using Low calcium fly ash replaced with slag in 5 different percentages. They discovered that Compressive strength of geopolymer concrete increases with a rise in the percentage of replacement of fly ash with Ground Granulated Blast Slag up to 28.57% of replacement, where normal setting was observed, while fast setting

 <https://orcid.org/0009-0008-9666-6320>



24-aprel, 2025

62

“Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari”

occurred beyond this level. They determined that a maximum of 25% reduction in compressive strength was observed when geopolymers were exposed to a temperature of 500° C for two hours.

Joseph Davidovits (1994) executed research on Properties of Geopolymer cements. This paper concentrated on Geopolymer concrete possessing exceptional properties and being well-suited for manufacturing precast concrete products needed in rehabilitation and retrofitting of structures following disasters. The author concluded by introducing low- CO<sub>2</sub> geopolymeric cements, not only for environmental applications but also in construction and civil engineering, which would decrease CO<sub>2</sub> emission caused by cement and concrete industries by 80%.

Leopoldo franco et al (2000) conducted investigation on concrete strength and longevity of prototype tetrapod and contrasted the outcomes of field and laboratory tests. This document was presented to explore the material properties after extended exposure at sea. They found minimal or no degradation had transpired after a 16 to 24 years period at sea.

Lloyd N.A and B.V Rangan (2010) performed experiments on geopolymer concrete with fly ash. They deduced that Geopolymer concrete possesses excellent properties and is appropriate for manufacturing precast concrete products required in rehabilitation and retrofitting of structures post-disaster. Current research is focusing on the resilience of Geopolymer in aggressive soil conditions and marine settings.

Lyon E et al (1996) examined the Fire Response of Geopolymer structural composites. They investigated the application of Geopolymer composites in infrastructure and transportation applications. They disclosed that Geopolymer composites are non-combustible structural materials suitable for infrastructure applications where substantial fire resistance is needed at low to moderate cost. Additionally, they noted that load-bearing capability during fire exposure, where temperatures reach several hundred degrees centigrade, will be significantly higher than organic resin composites.

Madheswaran C. K et.al (2013) investigated the variation of strength for different grades of geo polymer concrete by altering the molarities of sodium hydroxide. Various molarities of NaOH (3M, 5M, and 7M) were employed to prepare different mixtures and cured at ambient temperature. Geopolymer concrete mix formulations with compressive strength ranging from 15 to 52 MPa were developed. The specimens were assessed for compressive strength at ages of 7 and 28 days. The compressive strength of Geopolymer concrete increased with rising concentration of NaOH.

Mahesh Patel et al. (2013) examined the Strength of High Performance Concrete with Ground Granulated Blast Slag and Crusher Sand by substituting fine aggregates with crusher sand and cement with Ground Granulated Blast Slag. It was determined that 20% replacement of fine aggregates by crusher sand was optimal, based on Compressive strength and Split Tensile strength measurements.

Mohamed aquib javeed et al (2015) carried out Studies to determine the optimal level of sustainable Geopolymer concrete combining manufactured sand and pond ash as fine aggregate material replacing conventional natural river sand and employing ambient curing for strength development. They confirmed that 60% of m-sand and 40% of pond ash as a substitute for natural sand was the ideal amount to achieve favorable strength.

Muhd Fadhil Nuruddin et al (2011) conducted research on Compressive Strength and Interfacial Transition Zone Characteristics of Geopolymer Concrete with varying cast in-situ curing conditions. They concluded that compressive strength of geopolymer concrete was significantly influenced by the curing conditions. Therefore, appropriate curing methodology was crucial to obtain acceptable strength in geopolymer concrete structures.

Pithadiya.S et al (2015) executed an experimental investigation on Geopolymer concrete by incorporating Ground Granulated Blast Slag. They performed tests on Geopolymer concrete by substituting fly ash with Ground Granulated Blast Slag, and the specimens underwent curing at room temperature as well as oven curing of 60 to 100 degrees centigrade. They confirmed that substitution of fly ash with Ground Granulated Blast Slag enhanced the strength progressively without oven curing provision. Thus, by utilizing Ground Granulated Blast Slag, oven curing challenges can be eliminated.

Vijai et al (2010) carried out tests on Geopolymer concrete cubes, cylinders, and prism specimens by employing fly ash and aggregates, and also incorporating ordinary Portland cement along with fly ash and aggregates. It was observed that the density of Geopolymer Concrete ranges from 2336 to 2413 kg/m<sup>3</sup> and density of Geopolymer Portland Cement Concrete ranges from 2356 to 2424 kg/m<sup>3</sup>. They also noted that Geopolymer Concrete has two limitations: delay in setting time and necessity of heat curing to achieve strength.

Vijaya Rangan B conducted research on the durability of geopolymer concrete for environmental protection. This paper describes the outcomes of tests performed on large-scale reinforced Geopolymer concrete members and illustrates the application of Geopolymer concrete in construction industries. Excellent resistance to sulphate attack and fire, good acid resistance, and low creep were highlighted as benefits of utilizing Geopolymer concrete.

### 3. Discussion

Based on diverse researchers' findings, it is observed that Geopolymer Concrete composed of Fly ash and Alkaline Solution introduces a new era in the Construction Industry. Sodium Silicate (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) and Sodium Hydroxide (NaOH), when reacting with fly ash, initiate the Geopolymerization Process, which is accountable for Strength generation. Geopolymer Concrete Necessitates Oven Curing of 60°C to 100°C for 24 to 96 Hours. Ground Granulated Blast Slag creates a substantial impact on the strength of Geopolymer concrete.

### 4. Conclusion

Based upon the above literature review, it could be inferred that all researchers have dedicated their efforts to demonstrate the influence of Ground Granulated Blast Slag on Geopolymer Concrete. Nevertheless, it should be noted that variations in parameters such as Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH Ratio, Molarity of NaOH, Curing temperature, and Curing time create fluctuations in Strength. Replacement of Fly ash with Ground Granulated Blast Slag progressively enhances Strength without Oven curing provision. A deficiency of information regarding certain aspects of geopolymerisation has become evident, and the scientific community should concentrate on these gaps. Despite the current status and



widespread acceptance of Portland cement, the desirable properties of Geopolymers, their environmental advantages, and the robust academic and commercial Research and Development activity suggest that Geopolymer technology is positioned for significant advancement in the near future.

## References

- [1] Abdul Aleem M.I and Arumaira P.D “Optimum mix for the geopolymer concrete”. Indian Journal of Science and Technology, Vol. 5 No. 3 (Mar 2012).
- [2] Abdul Aleem M.I, P. D. Arumairaj. “Geopolymer Concrete - A Review”. International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies, Feb 2012, Volume 1, Issue 2, PP. 118- 122.
- [3] Balaguru P, Stephen Kurtz, and Jon Rudolph. “Geopolymer for Repair and Rehabilitation of Reinforced Concrete Beams”. Geopolymer Institute 1997 02100 SAINT-QUENTIN – France.
- [4] Ganapati Naidu.P, A.S.S.N.Prasad, S.Adishesu, P.V.V.Satayanarayana. “A Study on Strength Properties of Geopolymer Concrete with Addition of Ground Granulated Blast Slag”. International Journal of Engineering Research and Development Volume 2, Issue 4 (July 2012), PP. 19- 28.
- [5] Joseph Davidovits. “Properties of Geopolymer cements”. Published in proceedings First International Conferences on Alkaline Cements and Concretes, Scientific Research Institute on Binders and Materials, Kiev State Technical University, Kiev, Ukraine, 1994, PP. 131-149.
- [6] Leopoldo Franco et al “Concrete strength and durability of prototype tetrapod's and dolosse: results of field and laboratory tests”. L. Franco et al. Coastal Engineering 40 2000 207-219. Received 10 September 1997; accepted 8 February 2000.
- [7] Lloyd N.A and Rangan.B.V. “Geopolymer Concrete with Fly Ash”. Coventry University and the University of Wisconsin Milwaukee Centre for By-products Utilization, Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. June 2010.
- [8] Lyon R.E, U.Sorathia, P.N.Balaguru and A.Foden, J. Davidovits and M. Davidovics. “Fire Response of Geopolymer Structural composites”. Proceedings of the First International Conference on Fibre Composites in Infrastructure (ICCI' 96) Tucson, January 15-17, 1996, Dept. Civil Eng., University of Arizona, pp. 972-981.
- [9] Madheswaran.C, Gnanasundar.G, Gopala krishnan.N. “Effect of molarity in geopolymer concrete”. International journal of civil and structural engineering Volume 4, No 2, 2013.
- [10] Mahesh Patel, Rao P. S. and Patel T. N., 2013, Experimental Investigation on Strength of High Performance Concrete with Ground Granulated Blast Slag and Crusher Sand, Indian Journal of Research, Vol.3, Issue4, PP. 114- 116.
- [11] Mohamed Aquib Javeed, Veerendra Kumar, Narendra.Dr.H. “Studies on Mix Design of Sustainable Geo-Polymer Concrete”. International Journal of Innovative Research in Engineering & Management (IJIREM) ISSN: 2350-0557, Volume-2, Issue-4, July 2015.
- [12] Muhd Fadhil Nuruddin, Andri Kusbiantoro, Sobia Qazi, Nasir Shafiq. “Compressive Strength and Interfacial Transition Zone Characteristic of Geopolymer Concrete with Different Cast In-Situ Curing Conditions”. World Academy of Science, Engineering and Technology Vol:5 2011-01-24.
- [13] Pithadiya.S, Abhay V.Nakum. “Experimental study on geopolymer concrete by using Ground Granulated Blast Slag”. International Journal of Research in Engineering and Technology Volume: 04 Issue: 02 | Feb-2015.
- [14] Vijai, K, Kumutha, R & Vishnuram, BG 2010, “Effect of types of curing on strength of geopolymer concrete”, International Journal of the Physical Sciences, vol. 5(9), pp. 1419-1423.
- [15] Vijaya Rangan.B. “Geopolymer concrete for environmental protection”. The Indian Concrete Journal, April 2014, Vol. 88, Issue 4, pp. 41-48, 50-59.

## Information about the author

**Nazibekov  
Azamat  
Kuatbayevich** Toshkent davlat transport universiteti “Bino va sanoat inshootlari qurilishi” kafedrası doktoranti,  
e-mail:  
[azamatnazibekov@gmail.com](mailto:azamatnazibekov@gmail.com)  
Tel.: +998913879093  
<https://orcid.org/0009-0008-9666-6320>





## Experimental test methods for the properties of building materials based on class "f" and "c" ash from a thermal power plant

Z.M. Sattorov<sup>1</sup><sup>a</sup>, N.A. Madraimov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article covers the analysis of the technology of recycling into building materials by using ash of classes F (fly ash) and C (bottom ash) emitted by thermal power plants. It also shows the analysis of the physicochemical properties of ash and slag, the directions of use in building materials and environmental effects. The results of the assessment of the significance of new technologies for increasing the efficiency of production of building materials from waste and minimizing their impact on the environment are presented.

**Keywords:** waste recycling, thermal power plants, construction materials, environmental safety, fly ash, ceramics

## Issiqlik elektr stansiyasidan chiqadigan “f” va “c” sinfli kullari asosidagi qurilish materiallarining xossalarini tajriba-sinov usullari

Sattorov Z.M.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Madraymov N.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Toshkent arxitektura-qurilish universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqolada issiqlik elektr stansiyalaridan chiqariladigan F (uchuvchi kul) va C (kul qoldig'i) sinfli kullardan foydalanish orqali qurilish materiallariga qayta ishlash texnologiyalarini tahlil qilish yoritilgan. Shuningdek, kul va toshqollarning fizik-kimyoviy xossalari, qurilish materiallaridagi foydalanish yo'nalishlari va ekologik samaralari tahlili ko'rsatilgan. Kullardan qurilish materiallarini ishlab chiqarishdagi samaradorlik va ularning ekologik ta'sirini minimizatsiya qilish uchun yangi texnologiyalarning ahamiyatini baholash natijasi keltirilgan.

**Kalit so'zlar:** chiqindilarni qayta ishlash, issiqlik elektr stansiyalari, qurilish materiallari, ekologik xavfsizlik, uchuvchi kul, keramika

### 1. Kirish

Hozirgi kunda chiqindilarni qayta ishlash va boshqarish masalalari qoniqarli deb baholab bo'lmaydi. Dunyoda chiqindilarning ko'payishi va cheklangan resurslar muammosi ekologik jihatdan eng dolzarb va global bo'lgan masalalardan biriga aylandi. Chiqindilarni qayta ishlash faoliyati orqali turli xo'jalik sohalari uchun zarur bo'lgan xom ashyo mahsulotlarini olish iqtisodiyotni samarali boshqarish uchun muhim ahamiyatga ega. Chiqindilarni qayta ishlashning eng samarali usullaridan biri – ularni ishlab chiqarishda foydalanish yoki qayta ishlash texnologiyalarini qo'llash hisoblanadi. Bu usul nafaqat ekologiya va atrof-muhitga, balki iqtisodiyotga ham katta ta'sir ko'rsatadi. Har bir chiqindilar manbasidan kerakli xom ashyo olish mumkin. Shu bilan birga, bu orqali ko'p sonli ish o'rinlari yaratiladi va jamiyatning ekologik qarashlarini oshirishga xizmat qiladi. Chiqindilar bilan bog'liq ishlarni amalga oshirish tizimini isloh qilish doirasida O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 1-yanvardagi “Chiqindilarni boshqarish tizimini takomillashtirish va ularning ekologik vaziyatga salbiy ta'sirini kamaytirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida”gi PQ-5-sonli qarori qabul qilindi [1].

Ushbu tadqiqotda issiqlik elektr stansiyalarining F (Uchuvchi kul) va C (Kul qoldig'i) sinfli kullaridan olinadigan qurilish materiallari tahlil qilinib chiqiladi. Ushbu kullar issiqlik elektr stansiyalarida ko'mir yoki boshqa yoqilg'ilarni yoqish orqali paydo bo'ladi. Hozirgi

kunda kullarning qayta ishlanishi nafaqat ekologik xavfsizlikni ta'minlash, balki qurilish materiallarining sifatini oshirishga ham xizmat qiladi.

**Adabiyotlar tahlili.** Qurilish materialshunosligining hozirgi kundagi muhim vazifalaridan biri, yuqori sifatli, arzon narxdagi, mustahkam va energiya tejamkor bo'lgan mahalliy xom ashyolar va ikkilamchi resurslardan foydalangan holda samarali va arzon qurilish materiallarini ishlab chiqarish hisoblanadi. Buning ortidan qurilish sohasidagi resurslar tejamkorligi va ekologik xavfsizlikka bo'lgan talablar ham yanada kuchayadi. Issiqlik elektr stansiyasidan chiqadigan F va C sinfli kullari asosida qurilish materiallari olish bo'yicha xorijiy (Hindiston, Malayziya, Rossiya) olimlar Virendra Kumar Yadav, Amel Gacem, Nisha Choudhary, Ashita Rai, Mohamed Abbas, Nidhal Ben Khedher, Nasser S. Awwad, Debabrata Barik Saiful Islam, Madawala Liyanage Duminda Jayaranjan, Eric D. van Hullebusch & Ajit P. Annachhatre, Abdulhameed Umar Abubakar, Khairul Salleh Baharudin, A.G.Malchik, S.V.Litovkin, P.V.Rodionov, V.V.Kozik, M.A.Gaydamak tadqiqot ishlarini olib borishgan va ularning quyidagi tadqiqotlari tahlil qilindi.

1. Virendra Kumar Yadav, Amel Gacem, Nisha Choudhary, Ashita Rai, Pankaj Kumar, Krishna Kumar, Mohamed Abbas, Nidhal Ben Khedher, Nasser S. Awwad, Debabrata Barik Saiful Islam “Ko'mirga asoslangan issiqlik elektr stansiyalarining holati, ko'mir kullari va ularning Hindiston sanoatida qo'llanilishi (Status of coal-based thermal power plants, coal fly ash production, utilization in

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9824-1491>



India)” bo’yicha tadqiqot ishlarini olib borishgan. Ushbu tadqiqotda Hindistondagi ko’mir asosida ishlaydigan issiqlik elektr stansiyalarining rivojlanish holati, ulardan chiqariladigan ko’mirni yonishdagi uchuvchi kulning qayta ishlanishi hamda uning yangi qo’llanish sohalari haqida ma’lumot berilgan. Hindistonda issiqlik elektr stansiyalari asosiy energiya manbai sifatida faoliyat yuritib, ko’mir yoqishdan katta miqdorda uchuvchi kul ishlab chiqariladi. Ushbu tadqiqot, ko’mir chiqindilarining atrof-muhitga ekologik ta’sirini kamaytirish va uni qayta ishlashning muhimligini yoritadi. Tadqiqotda, uchuvchi kuldari beton va sement ishlab chiqarishda foydalanish, qurilish sohasidagi yangi qo’llanishlar, ekologik va iqtisodiy samaralar bo’yicha tadqiqotlar olib borilgan. Ko’mir chiqindilarini qayta ishlash natijasida resurslar tejash, chiqindilarni kamaytirish va atrof-muhitga bo’lgan ta’sirni minimizatsiya qilish imkoniyatlari haqida qo’shimcha ma’lumotlar beriladi. Ushbu tadqiqot, ko’mir chiqindilarini samarali va ekologik toza qayta ishlash yo’llari hamda uning yangi foydalanish sohalari rivojlantirishga qaratilgan [2].

2. Madawala Liyanage Duminda Jayaranjan, Eric D. van Hullebusch, Ajit P. Annachatre “Ko’mir bilan ishlaydigan elektr stansiyalarining kul qoldiqlari va uchib ketuvchi kullar uchun qayta foydalanish yo’llari (Reuse options for coal fired power plant bottom ash and fly ash)” bo’yicha tadqiqot ishlarini olib borishgan. Ushbu tadqiqotda ko’mir bilan ishlaydigan issiqlik elektr stansiyalari tomonidan ishlab chiqarilgan kul qoldiqlari (bottom ash) va uchuvchi kullarning (fly ash) qayta foydalanish imkoniyatlari hamda ularning turli sohalardagi qo’llanishi tahlil qilingan. Tadqiqotda, kul qoldig’i va uchuvchi kullarning qurilish materiallari, sement ishlab chiqarish, asfalt, beton kabi turli yo’nalishlarida samarali foydalanish imkoniyatlari ko’rsatiladi. Shuningdek, bunday qayta ishlangan materiallarning atrof-muhitga ekologik ta’siri, resurslarni tejash va chiqindilarni kamaytirishdagi ahamiyati yoritilgan. Tadqiqotdagi kul qoldig’i va uchuvchi kullarni yangi texnologiyalar orqali qayta ishlanishi, ularni qurilish va energiya manbaalarini ishlab chiqarish sohalardagi samaradorligi hamda ekologik baholanishiga qaratilgan. Hozirgi kunda ko’mir elektr stansiyalaridan chiqariladigan kullar, atrof-muhitni muhofaza qilish va tabiiy resurslarni tejashda muhim ahamiyatga ega bo’lib, ularning qayta ishlanishi ekologik va iqtisodiy jihatdan ahamiyatli hisoblanadi [3].

3. Abdulhameed Umar Abubakar, Khairul Salleh Baharudin “Malayziya issiqlik elektr stansiyalaridan chiqadigan ko’mir kullaridan qurilishda foydalanish imkoniyatlari (Potential use of Malaysian thermal power plants coal bottom ash in construction)” bo’yicha tadqiqot ishlarini olib borishgan. Ushbu tadqiqotda Malayziyaning issiqlik elektr stansiyalarida ishlab chiqarilgan ko’mir kulining qoldiqlarini (bottom ash) qurilish sohasida foydalanish imkoniyatlari tahlil qilingan. Malayziyadagi issiqlik elektr stansiyalarida ko’mir yoqish jarayonida katta miqdorda kul qoldiqlari ishlab chiqariladi va uning fizik-kimyoviy xossalari bilan qurilish materiallari sifatida ishlatish uchun mukammal xom ashyo bo’lishi mumkin. Tadqiqotda kul qoldiqlarini beton, asfalt, sement va boshqa qurilish materiallarini ishlab chiqarishda qo’llash imkoniyatlari va ularning ekologik iqtisodiy samaralari ko’rsatiladi. Shuningdek, kul qoldiqlarining qayta ishlanishi va foydalanishining atrof-muhitga bo’lgan ta’siri, chiqindilarni kamaytirish va tabiiy resurslarni tejashdagi ahamiyatiga e’tibor qaratilgan. Tadqiqotlar, kul qoldiqlarini qurilish materiallari sifatida foydalanilishi, bu

materiallardan ishlab chiqarilgan buyumlarning sifatini oshirish va ularning ekologik foydalanishini ta’minlash imkoniyatlarini o’rganadi [4].

4. A.G.Malchik, S.V.Litovkin, P.V.Rodionov, V.V.Kozik, M.A.Gaydamak “Qurilish keramikasi ishlab chiqarishda issiqlik elektr stansiyalarining kul va toshqol chiqindilaridan foydalanish texnologiyasini tahlil qilish (Analyzing the technology of using ash and slag waste from thermal power plants in the production of building ceramics)” bo’yicha tadqiqot ishlarini olib borishgan. Ushbu tadqiqotda issiqlik elektr stansiyalaridan chiqarilgan kul va toshqol chiqindilarining qurilish keramikasi ishlab chiqarishda qo’llanish texnologiyalari tahlil qilingan. Tadqiqotda, ko’mir yoqish jarayonida ishlab chiqariladigan kul va toshqollar, qurilish keramikasiga qo’shish orqali yangi materiallar ishlab chiqarishdagi o’rni va ularning fizik-kimyoviy xossalari yoritiladi. Kul va toshqollarning keramika ishlab chiqarishdagi foydalanilishi, ekologik jihatdan chiqindilarni kamaytirish va resurslarni tejash imkoniyatlarini hamda bu materiallardan olingan buyumlarning sifatini oshirishga ta’siri to’g’risidagi ma’lumotlar beriladi. Shuningdek, tadqiqotda ushbu qayta ishlanadigan chiqindilarning umumiy ishlab chiqarish jarayoniga integratsiya qilish bo’yicha yangi texnologiyalar, buyumlarning barqarorligini va atrof-muhitga zararsizligini ta’minlashdagi ahamiyatiga e’tibor qaratilgan. Tavsiflangan tadqiqot, qurilish keramikasi uchun ekologik toza va iqtisodiy jihatdan samarali materiallarni ishlab chiqarishning zamonaviy usullarini takomillashtirishga yordam beradi [5].

**Tadqiqot metodologiyasi.** “Qurilish keramikasi ishlab chiqarishda issiqlik elektr stansiyalarining kul va toshqol chiqindilaridan foydalanish texnologiyasini tahlil qilish (Analyzing the technology of using ash and slag waste from thermal power plants in the production of building ceramics)” bo’yicha tadqiqotning metodologiyasi o’rganildi. Ushbu tadqiqotda kul va toshqol chiqindilarni qurilish keramikasi ishlab chiqarishda qo’llashning samaradorligini baholash maqsadida bir qator tajriba-sinov va tahlil usullari qo’llanildi. Tadqiqot metodologiyasi quyidagicha shakllantirildi:

*Chiqindilarning to’planishi va tavsifini aniqlash:* issiqlik elektr stansiyalaridan yig’ilgan kul va toshqollar turli joylardan olinadi va ularning fizik-kimyoviy xossalari (mikro tuzilishi, kimyoviy tarkibi, mineralogik yozilish va sh.k.) tahlil qilinadi; chiqindilarning turli xossalari, masalan, mexanik kuchlanish va suv shimuvchanligini o’rganish uchun laboratoriya sharoitida tadqiqotlar o’tkazildi [5].

*Ishlab chiqarish jarayonini modellashtirish:* qurilish keramikasi ishlab chiqarish texnologiyasida kul va toshqollarni qo’shishning turli miqdorlari va ularning sinov materiallariga ta’siri hamda natijada keramika buyumining sifatini tahlil qilish uchun turli tajriba-sinovlar o’tkazildi; texnologik ko’rsatkichlarni (harorat, vaqt, sinov materiallari) o’zgarishini, qo’shilgan materiallarning keramika ishlab chiqarish jarayoniga ta’sirini baholash maqsadida simulyatsiyalar va statistik modellashtirish amalga oshiriladi.

*Qurilish keramikasi buyumlarining fizik-kimyoviy xossalari baholash:* tadqiqotda ishlab chiqarilgan keramika buyumlari (plitka va boshqa buyumlar)ning barqarorligi, mustahkamligi, suv shimuvchanligi laboratoriya sharoitida tajriba-sinovlar olib borish orqali o’rganiladi; xossalarning yaxshilanishi va ekologik samaradorligi hamda keramika buyumlarning atrof-muhitga zararsizligini aniqlash uchun tajriba-sinovlar olib boriladi.



*Ekologik va iqtisodiy tahlil:* tadqiqotda, kul va toshqol chiqindilarining qayta ishlanishi iqtisodiy tomondan samarali ekanligi baholanadi; shuningdek, qayta ishlash natijasida chiqindilarni kamaytirish va tabiiy resurslardan tejash imkoniyatlari aniqlanadi.

*Natijalarni tahlil qilish:* turli miqdordagi kul va toshqollarning keramika buyumlarning sifatini qanday yaxshilashga yordam berishini tahlil qilish maqsadida statistik tahlil usullari va samaradorlik ko'rsatkichlari qo'llaniladi.

## 2. Tadqiqot metodikasi

“Qurilish keramikasi ishlab chiqarishda issiqlik elektr stansiyalarining kul va toshqol chiqindilaridan foydalanish texnologiyasini tahlil qilish (Analyzing the technology of using ash and slag waste from thermal power plants in the production of building ceramics)” tadqiqotidagi tajriba-sinov usullari quyidagicha shakllantirildi [5]:

1. Fizik-kimyoviy xossalarni tahlil qilish.

Kul va toshqollarning kimyoviy tarkibini aniqlash: kul va toshqollarning har bir namunasining kimyoviy tarkibi, ya'ni asosiy elementlar (silikatlar, alyumosilikatlar va boshqalar) va mineral moddalar tuzilishi spektroskopiya yoki kimyoviy tahlil usullari orqali tekshirildi.

Mexanik xossalarni o'rganish: mexanik kuch, egiluvchanlik va yemirilishga qarshi turish xossalarni aniqlash uchun kul va toshqollarning material sifatida ishlatiladigan beton yoki keramika bilan aralashgan holda tajriba-sinovlar o'tkazildi.

2. Qurilish keramikasini ishlab chiqarish.

Keramika ishlab chiqarish jarayoni: kul va toshqollarning turli miqdorlarini sinov materiallariga qo'shish orqali ishlab chiqarilgan keramika buyumlari (plitka va boshqa)ning sifatini o'rganish uchun tajribalar o'tkazildi.

Harorat va olovga bo'lgan ta'sirini tekshirish: maqsadli haroratlar (keramika uchun standart haroratlarning 800-1000°C oralig'ida) keramika buyumlarini zamonaviy texnologiyalar orqali ishlab chiqarish va ularning mustahkamligini hamda issiqlik bardoshligini tekshirish.

3. Beton va keramika mahsulotlarining xossalari.

Suvga bo'lgan ta'sir (gigroskopiya): beton va keramika mahsulotlarining suv shimuvchanligi, suvga to'yinganligi va suvga chidamlilik xossalari laboratoriya sharoitida maxsus havo va suv yoki dinamik sinovlar orqali tekshirildi [6, 7, 8, 9].

Mustahkamlik va chidamlilik sinovlari: buyumlarning mustahkamligi, qattiqligi, izometriyasi va deformatsiyaga qarshi turish xususiyatini aniqlash uchun mexanik kuchlanish tajriba-sinovlari o'tkazildi.

4. Ekologik ta'sirni baholash.

Gaz chiqishlari va havo tozaligi: qayta ishlangan kul va toshqollardan ishlab chiqarilgan keramika materiallarining yoqilishi, ularning atrof-muhitga ta'sirini kamaytirishda ekologik foydali yoki zararli oqibatlarini aniqlash maqsadida tajriba-sinovlar o'tkazildi.

Qayta ishlangan materiallarning emissiyasi (ionlar chiqarishi): kul va toshqollarning qayta ishlanishini tekshirishda ulardan chiqarilgan har xil emissiyalarni tahlil qilish, gazlar va chiqindilar hajmini kamaytirilishi o'rganildi.

5. Qurilish keramikasi mahsulotlarining fizik-kimyoviy tahlili usullari.

Mikroskopik va spektroskopik tekshiruv: keramika mahsulotlarining tuzilmasini aniqlash uchun mikroskopik tahlillar (SEM, XRD) qo'llanildi. Bu usullar materiallardagi mikro tuzilma, mineralogik tuzilishi va fazaviy shakli haqida ma'lumot olishga yordam berdi.

Kimyoviy va mexanik sinovlar: ishlab chiqarilgan keramika materiallarining mustahkamligi, haroratga bo'lgan barqarorligi va kimyoviy reaksiyalarga qarshi turish xususiyatlarini baholash uchun turli tajriba-sinovlar amalga oshirildi.

6. Iqtisodiy va ekotexnologik sinovlar.

Qayta ishlash samaradorligini baholash: kul va toshqollarning qayta ishlanish jarayonining iqtisodiy samaradorligi hisoblandi. Buning uchun materiallar xarajatlari, energiya sarfi va mahsulotning barqarorligini baholash uchun modullar va simulyatsiyalar amalga oshirildi.

Kul va toshqollarning fizik-kimyoviy xossalari.

1. Kul va toshqollarning kimyoviy tarkibi.

Tadqiqot natijalari ko'rsatishicha, kul va toshqollar asosan silikatlar va alyumosilikatlardan tashkil topgan. Bu ularni qurilish keramikasini ishlab chiqarishda foydalanish uchun mos keladigan materiallar sifatida tan olishga asos yaratdi. Kuldagi yuqori miqdordagi kremniy ( $\text{SiO}_2$ ) va aluminij oksidlari ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) keramika ishlab chiqarishda muhim hisoblanadi [10, 11, 12].

Toshqollarning tuzilishi: Toshqollarning tuzilishi ularning keramika ishlab chiqarishdagi samaradorligini aniqlashda muammo tug'dirdi. Kulga nisbatan toshqollar katta o'lchamli zarralar va kuchligini kamaytirish xususiyatiga ega bo'lishi mumkin, bu esa ba'zi holatlarda mahsulotning sifatini pasaytiradi.

2. Keramika mahsulotlarining sifatini baholash.

Mexanik xossalari: Tadqiqotlarda ishlab chiqarilgan keramika mahsulotlarining mexanik mustahkamligi va yemirilishga qarshiligi o'rganildi. Qo'shilgan kul va toshqollar, ayniqsa, kam miqdordagi toshqollar, keramika mahsulotlarining mustahkamligi va barqarorligini oshirishga yordam berdi. Bu keramika materiallarini ishlab chiqarishda ekologik va iqtisodiy samaradorlikka erishishning muhim omillaridan biri bo'ldi.

## 3. Xulosa

Tadqiqotlar natijalariga asosanib, issiqlik elektr stansiyalaridan chiqarilgan kul va toshqollarni qayta ishlash orqali qurilish materiallari ishlab chiqarishning ekologik va iqtisodiy ahamiyati muhimligini ko'rsatish mumkin. Xususan, kul va toshqollarning fizik-kimyoviy xossalari, ularning keramika ishlab chiqarishdagi foydalanishi haqidagi tadqiqotlar, bu materiallarning nafaqat ekologik xavfsizlikni ta'minlash, balki qurilish sohasidagi resurslar tejamkorligini oshirishdagi katta o'rni ixtisosa ishora qiladi. Issiqlik elektr stansiyalaridan chiqarilgan kul va toshqollar qurilish materiallari ishlab chiqarishda samarali xom ashyo bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, bu chiqindilarning qayta ishlanishi tabiiy resurslarni tejash va atrof-muhitga bo'lgan ta'sirni kamaytirishda muhim ahamiyat kasb etadi. Xususan, toshqol va kullarning mexanik va kimyoviy xossalari qurilish keramikasi ishlab chiqarishda muhim omillardan bo'lib, buyumlarning sifatini yaxshilashga yordam beradi. Qayta ishlashning iqtisodiy jihatdan ham samaradorligi va ekologik jihatdan ahamiyatini hisobga olgan holda, ushbu materiallarni qurilish sohasida foydalanish global ekologik muammolarga yechim topishda muhim rol o'ynaydi. Bu o'z

navbatida, chiqindilarni kamaytirish va resurslarni samarali boshqarishdagi muvaffaqiyatli qadam bo'ladi. Tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatadiki, kul va toshqollarni qayta ishlash nafaqat qurilish materiallarini ishlab chiqarishda, balki atrof-muhitga bo'lgan zararni kamaytirish, iqtisodiy samaradorlikni oshirish va ekologik xavfsizlikni ta'minlashda ham muhim ahamiyatga ega.

## Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 1-yanvardagi "Chiqindilarni boshqarish tizimini takomillashtirish va ularning ekologik vaziyatga salbiy ta'sirini kamaytirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida"gi PQ-5 sonli qarori (Qonunchilik ma'lumotlari milliy bazasi, 06.01.2024-y., 06/24/5/0008-son; 03.08.2024-y., 06/24/106/0571-son; 04.10.2024-y., 06/24/149/0772-son; 26.03.2025-y., 06/25/56/0274-son)
- [2] Yadav, V.K.; Gacem, A.; Choudhary, N.; Rai, A.; Kumar, P.; Yadav, K.K.; Abbas, M.; Khedher, N.B.; Awwad, N.S.; Barik, D.; et al. Status of Coal-Based Thermal Power Plants, Coal Fly Ash Production, Utilization in India and Their Emerging Applications. *Minerals* 2022, 12, 1503. <https://doi.org/10.3390/min12121503>
- [3] Jayaranjan, M.L.D., van Hullebusch, E.D. & Annachatre, A.P. Reuse options for coal fired power plant bottom ash and fly ash. *Rev Environ Sci Biotechnol* 13, 467–486 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9336-4>
- [4] Abubakar, A. U., & Baharudin, K. S. (2012). Potential Use of Malaysian Thermal Power Plants Coal Bottom Ash in Construction. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 3(2), 25-37. <https://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/IJSCET/article/view/429>
- [5] A.G.Malchik, S.V.Litovkin, P.V.Rodionov, V.V.Kozik, M.A.Gaydamak // Analyzing the Technology of Using Ash and Slag Waste from Thermal Power Plants in

the Production of Building Ceramics // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 127 (2016) pp 1-8 // doi:10.1088/1757-899X/127/1/012024

[6] Sattorov Z.M. Qurilish sohasidagi harakatlar strategiyasi. // O'zbekiston Bunyodkori ijtimoiy-iqtisodiy gazeta. №26 (273). 02.04.2019 y.

[7] Sattorov Z.M. Qurilish sohasini takomillashtirish va rivojlanish istiqbollari. // Ilmiy-amaliy jurnal "Arxitektura Qurilish Dizayn". // №1/2019, – Toshkent, 2019 y. – 45–50 b.

[8] Sattorov Z.M. Qurilish sohasini jadal rivojlantirish yo'lida. // O'zbekiston Bunyodkori ijtimoiy-iqtisodiy gazeta. №31 (380). 28.04.2020 y.

[9] Sattorov Z.M., Abdullaev A.J., Ibroximov B.R. Yangi O'zbekistonda qurilish materiallari ishlab chiqarish sanoatining rivojlanish tendensiyalari. // Ilmiy-amaliy jurnal "Arxitektura Qurilish Dizayn". // №3/2021, – Toshkent, 2021 y. – 129–135 b.

[10] Sattorov Z.M., Murodov B.Z. Yangi O'zbekistonda qurilish materiallari ishlab chiqarish sanoatining rivojlanish yo'nalishlari va istiqbollari. // Ilmiy-texnik jurnal "Milliy Standart". // №2/2022, – Toshkent, 2022 y. – 10–17 b.

[11] Sattorov Z.M. Qurilish sohasidagi harakatlar strategiyasi. // O'zbekiston Bunyodkori ijtimoiy-iqtisodiy gazeta. №26 (273). 02.04.2019 y.

[12] Sattorov Z.M. Qurilish sohasini jadal rivojlantirish yo'lida. // O'zbekiston Bunyodkori ijtimoiy-iqtisodiy gazeta. №31 (380). 28.04.2020 y.

## Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Sattorov Z.M.** Tashkent arxitektura-qurilish universiteti, t.f.n., prof.  
e-mail: [mr.s.zafar@mail.ru](mailto:mr.s.zafar@mail.ru)

**Madraymov N.A.** Tashkent arxitektura-qurilish universiteti, tayanch doktorant





## On the new classification of mineral fillers used in asphalt concrete technology

I.M. Makhamataliev<sup>1</sup><sup>a</sup>, A.M. Karabaev<sup>1</sup><sup>b</sup>, S.D. Avabde<sup>2</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Damascus University of Technology, Damascus City, Syria

**Abstract:** The article presents the results of research on the surface-active properties of local mineral fillers using the method of determining the distribution of adsorption centers (DAC). Based on the obtained results for determining the surface-active properties of local mineral fillers, a unified criterion for scientifically grounded prediction of the behavior of mineral fillers in the composition of asphalt concrete is proposed. The proposed criterion for assessing the acid-base properties of the surface of mineral fillers, using the indicator of "normalized chemisorption activity," shows a high convergence of the results with the outcomes of previously conducted studies and can be adopted as the basis for predicting and regulating the physical-mechanical and operational properties of asphalt concrete.

**Keywords:** mineral filler, asphalt concrete, structure formation, adsorption centers, acid centers, basic centers, chemisorption, asphaltene, microstructure, matrix, porosity, strength, properties, compression, bending, composition, composite, acid-base interaction, forecasting, criterion, classification, indicator, assessment, efficiency

## О новой классификации минеральных наполнителей, используемых в технологии асфальтобетонов

Махаматалиев И.М.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Карабаев А.М.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Авабде С.Д.<sup>2</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Дамасский технический университет, Город Дамаск, Сирия

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований по изучению поверхностно- активных свойств местных минеральных наполнителей с использованием метода определения распределения центров адсорбции (РЦА). На основании полученных результатов по определению характеристик поверхностно- активных свойств местных минеральных наполнителей предложить единый критерий научно обоснованного прогнозирования поведения минеральных наполнителей в составе асфальтобетонов. Предложенный критерий оценки кислотно- основных свойств поверхности минеральных наполнителей по показателю «приведённой хемосорбционной активности» показывает высокую сходимость получаемых результатов с результатами ранее приведенных исследований и может быть принят в основу прогнозирования и регулирования физико-механических и эксплуатационных свойств асфальтобетонов.

**Ключевые слова:** минеральный наполнитель, асфальтобетон, структурообразование, центры адсорбции, кислотные центры, основные центры, хемосорбция, асфальтены, микроструктура, матрица, пористость, прочность, свойства, сжатие, изгиб, состав, композит, кислотно-основное взаимодействие, прогнозирование, критерий, классификация, показатель, оценка, эффективность


### 1. Введение

В настоящее время минеральные наполнители рассматриваются как один из основных компонентов асфальтобетонов позволяющих регулировать процессы структурообразования асфальтобетонной смеси в нужном направлении и получать строительные композиты с заранее заданными свойствами [1-4]. Однако, как показывает анализ литературных источников поверхностно-активные свойства минеральных наполнителей недостаточно подробно изучены.

**Литературный анализ.** Общеизвестно, что впервые зависимости между составом поверхности наполнителей и свойствами композиционных

материалов получены для полимерных композитов. Логическим продолжением таких результатов является исследование роли поверхности минеральных наполнителей в полимербетонах и бетонах с полимерными добавками. Так, О. С. Поповой исследовалась адсорбция смол различными поверхностями, сформулирована и подтверждена гипотеза об избирательной адсорбции органических соединений из жидкой фазы поверхностями зерен цемента или гидратных новообразований. Получены изотермы адсорбции смол на поверхности минеральных веществ. В соответствии с экспериментальными данными водорастворимые смолы разделены на соответствующие группы.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0002-5945-2565>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9880-8547>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5317-2602>





Впервые учитывать взаимодействие в системе цемент - наполнитель предложено академиком В. И. Соломатовым (Россия). Его научной школе принадлежат проведенные впервые в технологии бетонов исследования кислотно-основных свойств наполнителей [6-12] в цементных и полимерных бетонах. М. К. Тахировым, исходя из представлений о структурообразовании связующих полимербетонов сделано предположение о том, что межфазное взаимодействие в системе «полимер-наполнитель» носит кислотно-основной характер. С учетом возможных топокхимических реакций, кислотно-основных взаимодействий на поверхности дисперсных частиц и раздела фаз сделано предположение о нецелесообразности совместного измельчения цементного клинкера с минеральными веществами при получении смешанных вяжущих и недостаточной эффективности использования высокодисперсных наполнителей и получено экспериментальное подтверждение. В работах [13,26] использован метод электронной спектроскопии адсорбированных молекул индикаторов. Определена сила и концентрация кислотных и основных центров на поверхности дисперсных веществ. Установлено, что поверхность частиц портландцемента в естественном состоянии характеризуется преобладающим наличием основных центров, и в качестве критерия активности поверхности дисперсных веществ предложена безразмерная величина «п», представляющая собой отношение суммы концентраций кислотных центров к сумме концентраций основных центров ( $\sum SK/\sum CO$ ). Однако, как показала практика этот критерий в силу ограниченности его возможностей использования не нашел широкого практического применения.

Метод измерения адсорбции красителей использован Л.С.Тушишвили при исследовании влияния компонентов шлакопортландцемента на его свойства. Установлено, что различные материалы по разному адсорбируют как ионоположительные, так и ионоотрицательные красители.

В работах [14,15] сформулировано условие достаточно прочных адгезионных контактов в системе «цемент-наполнитель». По мнению авторов, это возможно в том случае «если поверхностная энергия наполнителя значительно выше, чем цемента». Отмечается, что определение поверхностной энергии твердых тел затруднительно, и о значении ее для твердых тел «можно судить лишь косвенно - с помощью ряда расчетных методов или измерения некоторых механических характеристик».

В работе Н.А. Шангиной [14] и для оценки поверхностных свойств минеральных наполнителей предлагается использовать индикаторный метод определения распределения центров адсорбции (РЦА) в спектрофотометрическом варианте разработанной д.х.н. А.П. Ничипоренко [5].

Данный метод очень интересен с научной точки зрения и позволяет в определенной мере прогнозировать и управлять свойствами цементных бетонов.

## 2. Методология исследования

Методы. В проведенных в Ташкентском государственном транспортном университете экспериментальных исследованиях по восполнению

данного научного пробела в исследованиях поверхностно- активных свойств местных минеральных наполнителей были изучены эти свойства поверхности наполнителей с использованием метода определения РЦА разработанный д.х.н. А.П. Ничипоренко [5].

Метод определения РЦА при исследовании поверхностно-активных свойств минеральных наполнителей имеет бесспорные преимущества по сравнению с ранее использованными методами, которые заключаются в следующем:

1. Метод позволяет оценить не только кислотность или основность поверхности, но и установить принадлежность к lyonсовскому (апротонному) или бренстедовскому [5] типу, что делает возможным проследить механизм влияния их поверхности на свойства асфальтобетонной смеси и асфальтобетона.

2. Позволяет оценивать уровень энергии поверхности, так как значения силы кислоты или основания имеют энергетическое содержание, поскольку отражают энергию химической связи, выражаясь через величины соответствующих констант диссоциаций.

3. Параметры метода, отражающие кислотно-основную и энергетическую природу поверхности, позволяют утверждать их взаимосвязь с хемосорбционной активностью органического вяжущего и эксплуатационными свойствами асфальтобетонной смеси и асфальтобетона - вязкостью, прочностью и морозостойкостью, поскольку воздействуют на кислотно-основные и окислительно-восстановительные равновесия в системе.

Выбранный метод определения РЦА по своим параметрам позволяет предложить единый критерий научно обоснованного прогнозирования поведения минеральных наполнителей в составе асфальтобетона.

Обсуждение. В табл.1 и на рис 1-5 приведены результаты определения РЦА на поверхности принятых к исследованию минеральных наполнителей.

Кривые распределения центров адсорбции (РЦА) поверхности минеральных наполнителей построены в координатах:

$$g_{pKa^x} = F(pKa^x),$$

где  $g_{pKa^x}$ - содержание активных центров, эквивалентное количеству адсорбционного индикатора данной кислотной среды  $pKa^x$ , приведена на рис. 1-5.

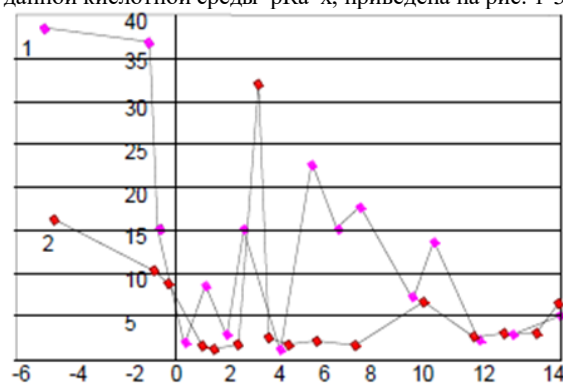


Рис. 1. Распределение центров адсорбции на поверхности: 1- базальтового наполнителя; 2- золы уноса ТЭС



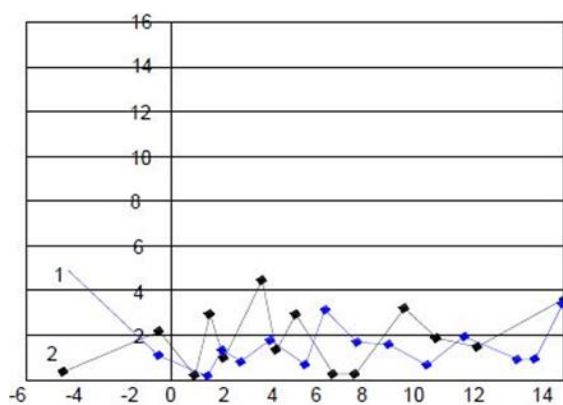


Рис. 2. Распределение центров адсорбции на поверхности: 1- глиежа; 2- отвалного шлака электроплавильного производства

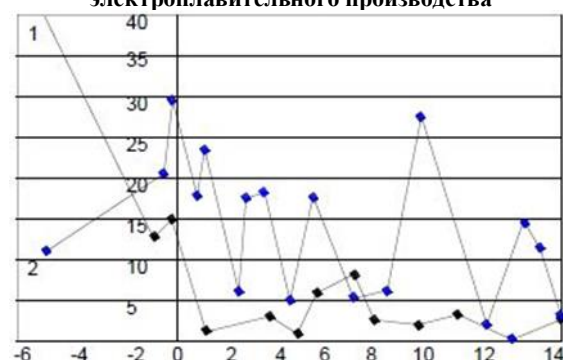


Рис. 3. Распределение центров адсорбции на поверхности: 1- цеолитсодержащей породы; 2- кварцевого песка

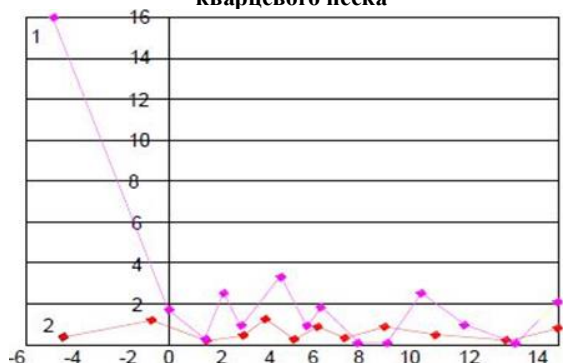


Рис. 4. Распределение центров адсорбции на поверхности: 1- отвалного шлака медеплавильного производства

Для анализа полученных результатов более удобно пользоваться данными табл.1, где приводятся значения суммарной активности центров в определенной области распределения.

Такие данные являются очень ценными, так как позволяют оценить влияние каждого из них на процесс хемосорбции органического вяжущего.

Таблица 1

**Содержание центров адсорбции поверхности минеральных наполнителей**

№ п/п	Наименование минерального	Кол-во центров, $10^3$ мг-экв/м <sup>2</sup>	Общее кол-во центров
1	Песок Кварцевый	8,04	27,78
2	Песок барханный	4,12	22,22
3	Глиеж	13,22	42,64
4	Базальт	23,41	58,68
5	ОЭП (отходы электроплавильного производства)	41,18	57,14
6	ОМП (отходы медеплавильного производства)	6,61	51,18
7	Зола-унос ТЭС	43,14	87,84
8	Цеолитсодержащая порода	102,08	141,72

	наполнитель	- 4...0	0 ... 7	7... 12,8	>12,8	
		$P_{ol}$	$P_{kb}$	$P_{ob}$	$P_{kl}$	
1	Песок Кварцевый	8,04	9,11	8,75	1,88	27,78
2	Песок барханный	4,12	7,08	9,95	1,07	22,22
3	Глиеж	13,22	16,47	10,08	2,87	42,64
4	Базальт	23,41	22,15	11,16	1,96	58,68
5	ОЭП (отходы электроплавильного производства)	41,18	5,48	9,34	1,14	57,14
6	ОМП (отходы медеплавильного производства)	6,61	23,88	16,37	4,32	51,18
7	Зола-унос ТЭС	43,14	27,61	11,77	5,32	87,84
8	Цеолитсодержащая порода	102,08	24,88	12,62	2,14	141,72

В работах Ядыкиной Н.Н. [15] подтверждена сформулированная ею гипотеза о том, что исходя из строения поверхности минеральных пород и состава битума, можно сделать вывод, что молекулы органических веществ, содержащиеся в вяжущем, могут достаточно активно взаимодействовать с поверхностью кислых минеральных материалов. Так, например, входящие в состав асфальтенов и смол ароматические полициклические структуры, включающие гетероциклы с азотом и серой, имеющие  $\pi$  - связи и атомы с неподеленными электронными парами, могут являться донорами электронов и взаимодействовать с электроноакцепторными кислотными центрами Льюиса ( $pK_a > 13$ ). Причем, конденсированные ароматические соединения, содержащиеся в асфальтенах, смолах и маслах, являются более непредельными, чем бензол, поэтому они значительно активнее. Кроме того, боковые заместители в виде предельных алифатических цепей, а также другие заместители с +C эффектом (-OH, -OR, -OCOR, -SH, -NH<sub>2</sub>, -NHR) активируют бензольные кольца. Нафтоновые кольца, содержащие, например, азот, являются также сильными льюисовскими основаниями, а пиридин по данным [8], легко образует комплексы с апротонными кислотами, каковыми и являются льюисовские кислотные центры на поверхности кремнезема.

Комплексные соединения фенолов и азотистых оснований также способны образовывать донорно-акцепторные связи с кислотными центрами Льюиса ( $pK_a > 13$ ) поверхности.

На Бренстедовских кислотных центрах,



представляющих собой поверхностные гидросильные группы ( $pK_a$  0-7) могут образовываться водородные связи при участии атома водорода поверхности, проявляющего электроно-акцепторные свойства, в качестве доноров при образовании этих связей могут быть  $\pi$ -связи, то есть электроны бензольных ядер и кратных связей органических соединений битума, а также неподеленные электронные пары гетероатомов. Проведённые многочисленные исследования [9], ясно показывают, что адсорбция полярных молекул или ароматических соединений посредством  $\pi$ -связей происходит наиболее сильно на поверхностных силанольных группах, не связанных водородными связями с соседними ОН-группами. Следовательно, для достижения максимальной адсорбции поверхность кремнезёма не должна содержать адсорбированную воду, но должна иметь наибольшую концентрацию групп SiOH.

По данным Хайра и Элліса [18] наиболее сильная адсорбция органических соединений происходит на изолированных, обладающих невозмущенными колебаниями гидроксильных группах, расположенных на термически дегидратированной поверхности кремнезёма. Молекулы ароматических углеводородов взаимодействуют с подобными гидроксильными группами при соотношении 1:1. В битумах содержатся также азотистые основания и соединения, содержащие гидроксильные (-ОН), карбонильные ( $C=O$ ), сложноэфирные (-COOR) и другие группы, образующие при окислении нефтяных остатков, которые являются брэнстедовскими основаниями и будут взаимодействовать с кислотными центрами Брэнстеда поверхности. Другие функциональные группы с кислородным атомом (-COOH,  $R-C(=O)-$ ), а также свободные кислородные соединения - нафтенные и асфальтогеновые кислоты, ангидриды, фенолы также способны адсорбироваться на активных поверхностных центрах кремнеземсодержащих минеральных материалах.

Кислоты, естественно, будут взаимодействовать с основными брэнстедовскими центрами ( $pK_a$  7-13), причем, ароматические кислоты являются более сильными, чем алифатические, а наличие двух заместителей, например -COOH и -ОН, у нафтенных и ароматических колец, что часто наблюдается в составе битума, усиливает кислотность, а, следовательно, адсорбционную способность этих соединений. В работе [10] при рассмотрении механизма реакций на поверхности кремнезёма указывается, что при адсорбции органических кислот, вероятно, образуются хемосорбированные соединения.

Ангидриды кислот ( $R-C(=O)-O-C(=O)-R$ ) являются акцепторами электронов, поэтому способны взаимодействовать с электронодонорными основаниями Льюиса ( $pK_a < 0$ ). Из органических веществ на этих центрах могут также адсорбироваться органические соединения, содержащие  $\pi$ -связи, сопряженные с заместителями с большим -С эффектом, являющиеся льюисовскими кислотами. В битумах это могут быть соединения с группами

$SO_3H^+$  и  $NO_2^+$ , но их количество очень мало. Нельзя исключать и возможность образования водородных связей или даже передачу протона в результате кислотно-основного взаимодействия кислот битума и основных льюисовских центров поверхности кремнезёма, однако в неполярных средах это

маловероятно.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что вопреки традиционно сложившемуся мнению, поверхность кислых кремнеземсодержащих минеральных материалов не является инертной по отношению к компонентам битума. Взаимодействие на границе раздела органическое вяжущее - минеральный материал нельзя рассматривать упрощенно, с той точки зрения, что поверхность кислых пород заряжена отрицательно, а в битуме присутствуют ПАВ преимущественно анионного типа (асфальтогеновые и нафтенные кислоты), поэтому взаимодействие между ними практически невозможно. Необходимо учитывать присутствие на поверхности минеральных материалов не только тончайших коллоидных пленок оксидов и гидроксидов и аморфного кремнезёма, но и обязательно наличие активных поверхностных центров, которые могут адсорбировать практически все органические соединения, содержащиеся в битуме, и за счет этого обеспечивать прочные адгезионные контакты между вяжущим и поверхностью минеральных материалов.

### 3. Результаты исследования

Учитывая вышеизложенное, а так же принимая во внимания малозначимость влияния интенсивностей центров адсорбции на поверхности минеральных наполнителей в области  $pK_a$  от -4 до 0 на хемосорбционную активность органического вяжущего нами был предложен критерий, позволяющий оценить поверхностно-активные свойства минеральных наполнителей в асфальтобетонах. Этот критерий был назван показателем приведённой хемосорбционной активности и обозначен символом  $R_{рха}$ . Данный показатель подсчитывается на основании результатов полученных после исследования донорно-акцепторных свойств поверхностей минеральных наполнителей с использованием индикаторного метода определения распределения центров адсорбции (РЦА) по способу Нечипоренко А.П. [5]. Как известно, полное описание кислотно-основных свойств поверхности минеральных наполнителей подразумевает определение концентрации и силы активных центров, т.е. получение их распределения с дифференцированной на кислотные и основные по Льюису и Брэнстаду.

Имея результаты по определению распределения центров адсорбции на поверхности минеральных наполнителей достаточно легко подсчитывается показатель приведённой хемосорбционной активности данного наполнителя, которая определяется по формуле:

$$R_{рха} = P_{kl} + 0,5P_{kb} + 0,25P_{ob}, \quad (1)$$

где,  $P_{kl}$ ,  $P_{ol}$ ,  $P_{ob}$  – количество центров адсорбции в областях:  $pK_a > 13,0$ ;

$0 < pK_a < 7$ ;  $7 < pK_a < 13,0$  в 10<sup>-3</sup> мг-экв/г. соответственно.

Данный критерий характеризующий кислотно-основные свойства поверхности минеральных наполнителей позволяет научно обосновано классифицировать минеральные наполнители по степени их воздействия на качественные показатели асфальтобетона. В общем случае предлагается следующая классификация минеральных наполнителей по критерию -  $R_{рха}$ , то есть по вычисленному по формуле (1) показателю приведённой хемосорбционной



активности (табл.2).

Для принятых к исследованию минеральных наполнителей подсчёт данного критерия т.е показателя приведённой хемосорбционной активности выполнен в табличной форме и представлен в табл. 2.

**Таблица 2**  
**Классификация минеральных наполнителей по показателю приведённой хемосорбционной активности  $R_{рха}$**

№ п/п	Виды минеральных наполнителей	Значения критерия $R_{рха}$	Потенциальная эффективность в составе асфальтобетона, % прироста прочности
1	Слабоактивные	от 0 до	До 5%

		<10	
2	Среднеактивные	от 10 до <15	5-10%
3	Сильноактивные	от 15 до <20	10-15%
4	Суперактивные	Свыше до >20	более 15%

Анализ результатов подсчёта критерия  $R_{рха}$  (табл. 3.) показывает, что согласно предложенной классификации принятые к исследованию местные минеральные наполнители относятся к следующим видам по хемосорбционной активности: молотый барханный, кварцевый песок, ОЭП- средне активные; базальт, цеолитсодержащая порода - сильно активные; ОМП, зола-уноса ТЭС - суперактивные.

**Таблица 3**

**Подсчёт критерия  $R_{рха}$  в табличной форме**

№ п/п	Наименование минерального наполнителя	Исходные данные				Преобразованные данные		Критерий $R_{рха}$
		-4...0	0...7	7...13,0	>13,0	0,25 $P_{об}$	0,5 $P_{кб}$	
		$P_{ол}$	$P_{кб}$	$P_{об}$	$P_{кл}$			
1.	Песок Кварцевый	8,04	9,11	8,75	1,88	2,18	4,55	8,61
2.	Песок барханный	4,12	7,08	9,95	1,07	2,49	3,54	7,10
3.	Глиеж	13,22	16,47	10,08	2,87	2,52	8,23	13,62
4.	Базальт	23,41	22,15	11,16	1,96	2,80	11,07	15,83
5.	ОЭП-отходы электроплавильного производства	41,18	5,48	9,34	1,14	2,33	2,74	6,21
6.	ОМП-Отходы медиплавильного производства	6,61	23,88	16,37	4,32	4,09	11,94	20,35
7.	Зола- унос	43,14	27,61	11,77	5,32	2,94	13,80	22,06
8.	Цеолит содержащая порода	102,08	24,88	12,62	2,14	3,15	12,44	17,73

В целях подтверждения достоверности и корректности полученных результатов исследований по разработке нового критерия оценки поверхностно-активных свойств минеральных наполнителей для асфальтобетонов нами были проведены сравнительные исследования с полученными ранее результатами исследований других учёных и специалистов [18-25]. Результаты подсчёта предложенного критерия  $R_{рха}$  для минеральных наполнителей, исследованных в работах Шангиной Н.Н., Ядыкиной В.В. [14,15] показывают, что предложенный критерий оценки поверхностно-активных свойств минеральных наполнителей по показателю приведённой хемосорбционной активности ( $R_{рха}$ ) достаточно корректно и объективно отражает потенциальную хемосорбционную способность данного вида наполнителя в асфальтобетонах.

## 4. Заключение

Таким образом, предложенный критерий оценки кислотно- основных свойств поверхности минеральных наполнителей по показателю  $R_{рха}$  показывает высокую сходимость с результатами ранее приведенных исследований и может быть принят в основу прогнозирования и регулирования физико-механических и эксплуатационных свойств асфальтобетонов.

## Использованная литература / References

- [1] Адылходжаева А.И. Махаматалиев И.М., Тургунбаев У.Ж., Цой В.М.; под.общ. ред. Адылходжаева А.И. Интенсивные технологии строительства. (Монография). –Ташкент, Изд- во «Фан ва технология», 2016. -228 с.
- [2] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. Под. общ. ред. Адылходжаева А.И. Композиционные строительные материалы (Монография). - «LAMBERT» ACADEMIC PUBLISHING, 2018 -176 с.
- [3] Adilkhodjaev, A., Makhamataliev, I., Tsoy, V., Ruzmetov, F., Umarov, K. About ways of application of mineral fillers in the composition of cement concretes, taking into account the character of distribution of adsorption centers on their surface International Journal of Advanced Science and Technology, 2020, 29(5), страницы 1894–1900.
- [4] Adilkhodjaev.A., Makhamataliev, I., Tsoy, V., Umarov, K., Azimov, D. Classification of Mineral Fillers for Concretes, Taking into Account the Number and Nature of the Distribution of Active Centers on Their Surface AIP Conference Proceedingsthis link is disabled, 2023, 2612, 040011.
- [5] Нечипоренко А.П. Донорно-акцепторные свойства поверхности твёрдых тел оксидов и





халькогенидов. Автореферат дис... доктор, хим. наук. Санкт-Петербург. - 1995. - 41 с.

[6] Соломатов В.И. и др. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. Киев: Будивельник, 1991.

[7] Махаматалиев И.М. О концепции разработки технологии высокопрочных бетонов на основе полиструктурной теории композиционных строительных материалов // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Теория композиционных материалов и инновационные технологии». Ташкент, 2012. - С.26-29.

[8] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. О совершенствовании методологических аспектов полиструктурной теории композиционных материалов // Сборник научных статей по итогам Международной научно-практической конференции «Инновационная стратегия развития фундаментальных и прикладных научных исследований» Санкт-Петербург, 2016. - С.101-104.

[9] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Шаумаров С.С. Теоретические аспекты структурно-имитационного моделирования макроструктуры композиционных строительных материалов // Нучно-технический вестник Брянского государственного университета. - Брянск. 2018. - №3. - С.312-320.

[10] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М., А.И., Шаумаров С.С. Прогнозирование эффективности введения минеральных наполнителей в цементные композиты // Нучно-технический вестник Брянского государственного университета. - Брянск. 2019. - №1. - С.105-112.

[11] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. Некоторые аспекты структурообразования минеральных вяжущих веществ и способы их исследования // Проблемы механики. - Ташкент. 2015. - №2. - С.43-48. (05.00.00. № 6)

[12] Махаматалиев И.М. О совершенствовании методологических аспектов полиструктурной теории композиционных строительных материалов // Вестник ТашИИТа. - Ташкент. 2015. - №2. - С.106-110. (05.00.00. №11).

[13] Тахиров М.К. Адылходжаев А.И., Тахиров М.К., Самигов Н.А. О полиструктурной теории композиционных строительных материалов // Сб. науч. трудов ТАСИ. - Ташкент, 2008. - С 10-16.

[14] Шангина Н.Н. Прогнозирование физико-механических характеристик с учетом донорно-акцепторных свойств поверхности наполнителей и заполнителей. Автореферат дис... докт. наук. СП., 1998. - 25 с.

[15] Ядыкина В.В. Повышение качества асфальто- и цементобетона из техногенного сырья с учетом состояния его поверхности. Автореферат дис... докт. наук. Б., 2004. - 25 с.

[16] Махаматалиев И.М. О бетонах нового поколения на основе эффективных минеральных добавок, тонкозернистых песков и гиперпластификаторов // Вестник ТашИИТа. - Ташкент. 2013. - №1/2. - С.24-27. (05.00.00. №11).

[17] Махаматалиев И.М. О совершенствовании методологических аспектов полиструктурной теории композиционных строительных материалов // Вестник ТашИИТа. - Ташкент. 2015. - №2. - С.106-110. (05.00.00. №11)

[18] Махаматалиев И.М. Композицион курилиш материалларининг полиструктурли назарияси асосидаги илмий тадқиқотларнинг методологик жиҳатлари ҳақида // ФерПИ илмий-техник журнали. - Фаргона. 2017. - №1. - 171-173 б. (05.00.00. №20)

[19] Касимов И.И. Модификацияланган битумлар асосидаги асфальтбетон ва том қопламаларининг структураси, ҳоссалари ва технологияси. Техника фанлари доктори (ДСс) диссертацияси автореферати. Тошкент-2019. 58 б.

[20] Карабаев А.М., Садиқов И.С., Буриев Ш.Ч. Оптически-микроскопический анализ минерального порошка из сланцевых горных пород Дорожное строительство и его инженерное обеспечение. III Международная научно-техническая конференция. Минск. БНТУ. 2022. с 68-72.

[21] Карабаев А.М., Буриев Ш.Х., Содиков И.С. Фаоллашган минерал кукунни асфальтбетонга таъсирини ўрганиш. Научно-практической конференции “Инновационные технологии в строительстве”. Ташкент. ТашИИТ, Выпуск 14. 2019. 49-51 б.

[22] Карабаев А.М., Каримбердиев Ф.Ш. Исследование шлаковой смеси и строительство экспериментального участка асфальтобетонного покрытия на его основе. Автомобильные и железные дороги Содружества Независимых Государств Межправительственного совета дорожников. Москва. 04. 2022(99) с.104-107.

[23] Содиков И.С., Бўриев Ш.Х., Карабаев А.М. Асфальтбетон қоришмаси ишлаб чиқаришда қўлланиладиган маҳаллий хом ашёлардан олинган минерал кукунларни донадорлик таркиби, зарралари ва тузилиш шаклини асфальтбетоннинг физик-механик хоссаларига таъсири. Халқаро илмий-техник анжуман тўплами. Жиззах. ЖизПИ. 2022. 615 б.

[24] Золотарев В.А. Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны. Часть 2. Дорожные асфальтобетоны: учебник / В.А. Золотарев. - Харьков: ХНАДУ, 2016. - 204 с.

[25] Ефремов, С. В. Влияние температуры на долговечность в агрессивных средах асфальтобетонов на гранитном и известняковом щебне/ С. В. Ефремов // Вестник ХНАДУ. - 2017. - Вып. 79. - С. 123-128.

[26] Авабде Салим Диаб. Бетон на барханном песке с пластифицирующей добавкой: Автореферат дис... канд. техн. наук. СПИ, 1992. - 19 с.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Махаматалиев Иркин Мунинович** Ташкентский государственный транспортный университет Доктор технических наук, профессор  
Email: [erkinmah@mail.ru](mailto:erkinmah@mail.ru)  
Tel.: +998908066545  
<https://orcid.org/0009-0002-5945-2565>

**Карабаев Абдужаббор Мелиевич** Ташкентский государственный транспортный университет Кандидат технических наук, профессор  
E-mail: [ab.karabayev@gmail.com](mailto:ab.karabayev@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-9880-8547>





Авабде Салим    Доктор PhD технических наук,  
Диаб            Университет JPU Сирия, Дамаск  
E-mail: [salimavabde@gmail.com](mailto:salimavabde@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-5317-2602>



# Preparation of polymer cement adhesive (PCA) by dry construction mixtures technology (DCT)

U.J. Turgunbaev<sup>1</sup><sup>a</sup>, N.A. Sunnatillaeva<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** In the article the properties of polymer cement adhesive obtained by the technology of DCT are investigated and the methods of testing and technological schemes of obtaining DCT are given, also rational duration of obtaining dry mixture is established and it is shown that at the content of sand filler with Sud. 1000 cm<sup>2</sup>/g - 50%, hyperplasticiser POLIMIXJBI - 1,0% it is possible to obtain PCA with required cohesive strength.

**Keywords:** polymer-cement adhesive, filler, dispersity, cohesion, adhesion, activation, mixer-activator

## 1. Introduction

The experience of dry mixes application in European countries unambiguously testifies that 'wet' technologies are a thing of the past. Throughout the 'civilised world', repair and restoration work is now carried out exclusively with dry mixtures. As for construction works, 'wet' mixtures account for no more than 5%. According to the estimations of western specialists, the use of dry construction mixtures increases the efficiency of construction and finishing works by 150-200%, and if small mechanisation means are used - by 400-500%. This means that works are carried out 5 times faster, much more economically and qualitatively.

Dry construction mix is obtained in factory conditions by grinding in a mill strictly dosed on the recipe components. The composition of a dry mix includes: binder (cement, gypsum, lime or their combinations), neutral filler to ensure optimum volume (most often it is sand) and special modifying additives that give the mixture the necessary properties.

Dry construction mixtures are distinguished by three main features:

1. by the type of binder;
2. by the dispersibility of the filler;
3. by the main purpose.

According to the type of binder, dry mixtures can be subdivided into:

- cement (cement-containing);
- cementless.

According to the dispersity of the filler, dry mixtures are subdivided into:

- coarse-grained - with filler size not more than 2.5 mm;
- fine-dispersed (fine-grained) - with filler size not more than 0.315 mm.

According to the main purpose of dry mixtures are divided into:

- masonry - for masonry of cellular concrete blocks of brick, stone;
- assembly - for installation of large panels and partitions;
- adhesive - for laying facing tiles, for gluing thermal insulation materials and reinforcing mesh in lightweight plaster thermal insulation systems;

- grout (fugues) - for filling joints between facing tiles;
- waterproofing - for vertical and horizontal waterproofing of plinths, basements, foundations, swimming pools, bathrooms, hydraulic structures;
- protective and finishing plaster - for interior and exterior decorative finishing of buildings;
- self levelling - for screeding and floor bases;
- putty - for filling sinks and irregularities on concrete and plaster bases;
- colouring - for interior and exterior finishing of buildings;
- plastering (levelling) - for levelling walls and ceilings;

Of those listed above, the most interesting are modified dry mixtures for adhesive purposes. Such dry mixtures are a mixture of mineral binders, fillers of strictly fixed dispersity, dispersive polymer powders and various modifying additives.

## 2. Research methodology

**Compressive strength.** The compressive strength of cement stone was determined on specimens of 20x20x20 mm and of concrete - 100x100x100 mm. The specimens were tested on CT-D2000 presses (Fig. 2.10) at 3, 7, 14, 28 days of age after storage in the normal curing chamber CU-40B.

The compressive strength of an individual specimen is calculated as the quotient of the failure load divided by the working area of the specimen. The tensile strength is calculated as the arithmetic mean of the four and highest test results of six specimens.

Concrete strength was calculated by the formula:

$$R_{сж} = \alpha \frac{P}{F}, \quad (2.3)$$

where:  $R_{сж}$  - compressive strength of concrete, MPa;  $P$  - breaking force, KN;  $F$  - average area of the working section of the specimen, cm<sup>2</sup>;  $\alpha$  - scale factor equal to 0.95.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5578-6555>


<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0006-9053-1455>





Fig. 2. 10. Hydraulic press CT-D2000

**Determination of specific surface.** The specific surface of the binders, as well as the used filler was measured, according to GOST 310.2.-81, using the device PSX-11A (Fig. 2.5).

The device PSX-11A is designed for determination of specific surface area and average particle size of dispersed materials. The operation of the device is based on the Kozeny-Karman gas permeability method and consists in determining the time of passage of a fixed volume of air through the layer of a sample consisting of non-porous rounded powder particles. With the help of such devices the determination of external surfaces of particles without taking into account intraparticle dead-end pores is made.

The Kozeny-Carman equation has the following form:

$$S_0 = 14 \sqrt{\frac{\Delta P * F * \delta^3}{Q * \eta * L * (1 - \delta)^2}}, \quad (2.2)$$

where,  $S_0$  - surface area per unit volume;  $\Delta P$  - pressure difference on the sides of the sample;  $\delta$  - cross section of the sample;  $F$  - porosity coefficient;  $Q$  - air flow rate;  $\eta$  - air viscosity;  $L$  - height of the sample.



Fig. 2.5. Surface meter of dispersed materials PSX-11A

The tested powdery material is placed up to the cuvette, then the plunger is installed. A rubber hose is used to connect the cuvette to the instrument. This hose is used to connect the inlet connection of the instrument to the cuvette connection and to start the instrument.

The duration of the passage of a certain volume of air through a layer of powdery material depends on the value of its specific surface area, which allows to calculate its value.

All measurements and calculations in PSX-11A are automated, which eliminates the factor of subjective error.

### 3. Conclusion

The traditional technology of PCA production is based on adding water dispersions of polymers or water-soluble resins to the mixing water of mortar and concrete mixtures at the place of their preparation [1,2]. Such technology is relatively complex and does not meet modern requirements of intensification of construction processes. As already mentioned, in modern construction the use of dry construction mixtures (DCT) is expanding, the advantages of which are proved by the world experience of their use.

Therefore, we have investigated the possibility of using the technology of DCT to obtain PCA with POLIMIXJBI additive.

In the previously performed works two methods of obtaining DCT have been proposed [3,4]:

a) mixing in a compulsory mixer of dried sand (humidity not more than 0.5%) and other dosed components (binder, additive) until a homogeneous dry mixture is obtained, followed by packing in paper or polyethylene bags;

b) grinding in a mill dried sand, cement and a special additive, dosed strictly according to the composition of the CCS and packing into bags.

The first method essentially produces a dry mixture of ordinary mortar without filler, which does not meet the requirements of resource saving in the production of construction semi-finished products [3].

The second method is more effective, because the CSS contains 50% of sand filler and in the process of grinding there is activation of its components [4].

However, in the second method of obtaining DCT, it is practically impossible to determine the specific surface area of the sand component. And, as noted above, in accordance with the polystructural theory, in composite materials each type of filler should have its optimal dispersity. In addition, as shown in [5], the activity of fine mineral binders and fillers rapidly decreases in contact with air due to the hygroscopicity of their particles. Therefore, there is a need for activation of PCA components when mixing it with water. In this connection, we have proposed a two-stage activation of the components in the production of PCA. At the first stage, first, dried and dosed sand is ground in a mill to a certain dispersity. Cement and POLIMIXJBI are then loaded into the mill and by mixing them, the DCT is produced and bagged. In the second stage, the SCC is mixed with water at the site in a mixer-activator and PCA of appropriate composition is prepared.

Thus, in the process of research it was necessary to establish the rational duration of obtaining the CSS depending on the type of filler and mixing it with water in the mixer-activator. For this purpose, the experiments were performed in several stages.

At the first stage, as a result of preliminary experiments, the content, dispersibility and amount of sand filler for obtaining DCT and the limits of variation of POLIMIXJBI dosage were determined.

The sand was ground in a ball mill to a specific surface area of 1000, 2000 and 3000 cm<sup>2</sup>/g for 90, 115, 135 min, respectively.

The PCA was prepared manually by sequential mixing of dosed water, resin, cement and sand. The W/C was taken from the calculation of obtaining PCA with a flowability of

160 mm on a Suttard apparatus. The limits of variation of POLIMIXJBI and filler content were taken on the basis of earlier works [5].

Experimental data given in Tables 1, 2 show that for

obtaining PCA it is reasonable to use sand filler with specific surface area of 1000 cm<sup>2</sup>/g at the content of 30-50% of cement mass, POLIMIXJBI in the amount of 0.5-1.5%.

Table 1

Dependence of cohesive strength of PCA on sand filler dispersity

S <sub>уд.</sub> Sand, cm <sup>2</sup> /g	POLIMIXJBI content, %	Filler content, %	R <sub>сж</sub> <sup>28</sup> , MPa
0	1,0	0	72
1000	1,0	50	41
2000	1,0	50	35
3000	1,0	50	28

Table 2

Dependence of PCA cohesive strength on sand filler content

S <sub>уд.</sub> Sand, cm <sup>2</sup> /g	POLIMIXJBI content, %	Filler content, %	R <sub>сж</sub> <sup>28</sup> , MPa
1000	1,0	30	58
1000	1,0	50	41
1000	1,0	70	34
1000	0,5	50	36
1000	1,5	50	32

At the second stage, the influence of the duration of preparation and POLIMIXJBI content, on the specific surface area of DCT and water consumption of PCA during preparation in a turbulent-type mixer-activator for 30, 60 and 90 s was investigated. The rotational speed of the working body was 350 rpm. In the preparation of sand-filled PCA, firstly for 80 min in a laboratory ball mill sand was ground to S<sub>уд</sub>= 800 cm<sup>2</sup>/g, then cement and POLIMIXJBI were added and the dry mixture was stirred for another 20, 30 and 40 min. The results of the performed studies are given in Tables 3-7. At constant cement to filler ratio, the specific

surface area (SUD) of the DCT increased with increasing duration of production and POLIMIXJBI content. At the same time POLIMIXJBI fulfilled the role of intensifier of dry mixture grinding.

In contrast to the above, not only POLIMIXJBI, but also sand filler has a positive effect on the intensification of DCT grinding, as evidenced by the data of Table 3. The analysis of the given data shows that if for 20-40 min of mixing S<sub>д</sub> of DCT with sand filler without additive increased by 26-53, then with 0.5-1.5% additive - 34-66 and 54-93%.

Table 3

Variation of specific surface area of DCT from duration of production

Composition of DCT, %			Specific surface of DCT, m <sup>2</sup> /kg depending on the product, min			
cement	sand. fill.	POLIMIXJBI	0	20	30	40
66	33	0	226	285	321	345
		0,5	-	304	352	376
		1,0	-	323	378	394
		1,5	-	348	402	436

The consequence of the growth of dispersibility of DCT with sand filler is an increase in water consumption of PCA, which is confirmed by the data of Table 4. Comparison of the given data shows that with increasing dispersity of DCT

and increasing the duration of production there is a natural increase in water consumption of PCA. At the same time, with the increase of POLIMIXJBI dosage and, accordingly, plasticising effect, the water consumption of PCA decreases.

Table 4

Dependence of W/C on the additive content and duration of DCT production

Composition of DCT, %			W/C depending on milling time, min			
cement	sand. fill.	POLIMIXJBI	0	20	30	40
66	33	0	0,37	0,39	0,41	0,43
		0,5	0,35	0,36	0,375	0,4
		1,0	0,33	0,34	0,355	0,375
		1,5	0,3	0,315	0,325	0,345

This is explained by two reasons. Firstly, in the case of DCT with coarse sand, the S<sub>д</sub> of cement probably changes much more than that of the filler, since its initial S<sub>д</sub> was about 800 cm<sup>2</sup>/g. In other words, the sand filler acts as an abrasive. It should also be noted that in this case we used the device PSX-2, which allows to determine the S<sub>д</sub> of dispersed fillers only taking into account the geometrical shapes of particles. Secondly, the plasticising effect of POLIMIXJBI

is greater the higher the cement content and dosage of the additive and the larger the filler particles. Since there is more than 2 times less sand filler in DCT, the water requirement of PCA is lower.

Experiments have shown that at constant filler content in SCC, at activation of water suspension, cohesive strength of PCA in the hardened form changes extremely with mah index at duration of mixing of the mixture 60 s. (Table 5).



Table 5

Dependence of PCA cohesive strength on the duration of mixing DCT with water

Stirring time, min	Content, %			$R_{сжс}^{28}$ , MPa
	sand filler	POLIMIXJBI		
30	50	1,0		47
60	50	1,0		52
90	50	1,0		49

The highest indicators of cohesive strength of PCA are achieved at duration of DCT production 30 and 40 min, content of POLIMIXJBI additive 1.0% (tab. 6). The analysis of the data of Tables 5 - 7 also shows that for obtaining PCA the content of sand filler is 50%.

Table 6

Dependence of cohesive strength of PCA on the duration of DCT production

S <sub>уд.</sub> Sand, cm <sup>2</sup> /g	POLIMIXJBI content, %	Filler content, %	$R_{сжс}^{28}$ , MPa
20	1,0	50	45
30	1,0	50	52
40	1,0	50	54

Taking into account the performed researches the technological schemes for obtaining SCC have been proposed (Fig. 1).

Table 7

Dependence of PCA cohesive strength on the content of POLIMIXJBI resin

Content, %		$R_{сжс}^{28}$ , MPa
POLIMIXJBI	sand filler	
3	50	42
5	50	52
7	50	48

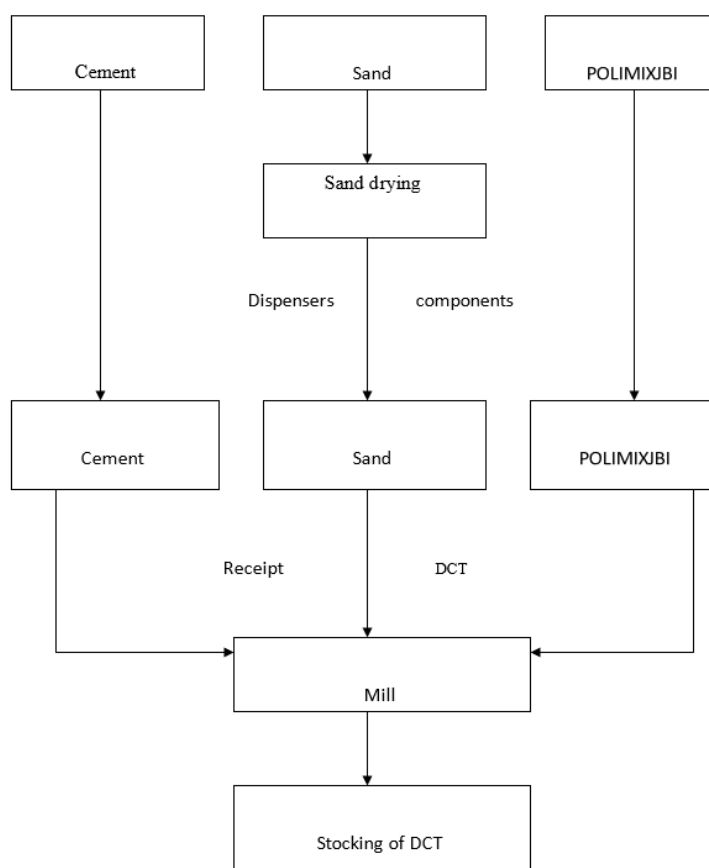


Fig. 1. Technological scheme of production of sand-filled DCT  
Storage bunkers

Thus, the conducted researches have shown the possibility of obtaining PCA with the use of water-soluble POLIMIXJBI according to the DCT technology.

#### 4. Conclusion

1. Two-stage technology of PCA production was substantiated. At the first stage the technology of dry

activation of PCA components is proposed, and the second stage - activation of aqueous suspension of PCA in a high-speed turbulent-type mixer.

2. Rational durations of dry mixture preparation (30 min) and high-speed mixture preparation (60 s.) are established.

3. It is shown that at the content of sand filler with Sud. 1000 cm<sup>2</sup>/g - 50%, POLIMIXJBI - 1.0% it is possible to obtain PCA with the required cohesive strength.



## References

- [1] Popova O.S. Structure and properties of concretes with additives of water-soluble resins // Author's Dissertation of Candidate of Technical Sciences. -L., LISI, 1990.-31 p.
- [2] Satakin A.V., Solntseva V.A., Popova O.S. Cement-polymer concretes. L.: Publishing house of literature on construction, 1981.- 169 p.
- [3] Kozlov V.V. Dry building mixes - M. Izd. ASV, 2006.- 96 p.
- [4] Pestsov V.I. Modern state and prospects of development of production of dry building mixes in Russia. 'Building materials', №3, 2004.

- [5] Solomatov V.I., Tahirov M.K., Taher Shah Md. Intensive technology of concretes. -M.: Stroyizdat, 1989. - 289 c.

## Information about the author

<b>Turgunbaev</b>	Tashkent State Transport University
<b>Urinbek</b>	<a href="https://orcid.org/0000-0001-5578-6555">https://orcid.org/0000-0001-5578-6555</a>
<b>Jamolovich</b>	
<b>Sunnatillaeva</b>	Tashkent State Transport University
<b>Nodirakhon</b>	Master's degree
<b>Alisher kizi</b>	e-mail: <a href="mailto:nodiraxonsunnatillaeva@gmail.com">nodiraxonsunnatillaeva@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0009-0006-9053-1455">https://orcid.org/0009-0006-9053-1455</a>



## High quality composite concrete binders with improved performance

S.I. Abdieva<sup>1</sup>, U.Kh. Abdullaev<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article analyzes the role of composite binders in improving the operational characteristics of high-quality concrete. It highlights the impact of materials such as fly ash, slags, and polymers on the quality, strength, and durability of concrete. The potential for improving concrete quality through the application of these technologies in Uzbekistan's construction industry is also discussed.

**Keywords:** high-quality concrete, composite binders, operational characteristics, fly ash, slags, polymers, concrete strength, durability, construction industry, innovative technologies, concrete compositions, Uzbekistan construction industry

## Ekspluatatsion ko'rsatkichlari yaxshilangan yuqori sifatli betonlarning kompozit bog'lovchilari

Abdiyeva S.I.<sup>1</sup>, Abdullaev U.X.<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqola yuqori sifatli betonlarning ekspluatatsion ko'rsatkichlarini yaxshilashda kompozit bog'lovchilarning rolini tahlil qiladi. Unda kul uchqundisi, shlaklar va polimerlar kabi materiallarning betonning sifatiga, mustahkamlik va chidamliligiga ta'siri ko'rsatilgan. Shuningdek, O'zbekistondagi qurilish sanoatida ushbu texnologiyalarning qo'llanilishi orqali beton sifatining oshishi mumkinligi muhokama qilinadi.

**Kalit so'zlar:** Yuqori sifatli beton, kompozit bog'lovchilar, ekspluatatsion ko'rsatkichlar, kul uchqundisi, shlaklar, polimerlar, betonning mustahkamligi, chidamliligi, qurilish sanoati, innovatsion texnologiyalar, beton kompozitsiyalari, O'zbekiston qurilish sanoati

### 1. Kirish

O'zbekiston mustaqillikka erishganidan so'ng, qurilish sohasida katta o'zgarishlar ro'y berdi. Mamlakatimizning iqtisodiy rivojlanishida qurilish sanoati o'zining muhim o'rini egallab, yangi davrga qadam qo'ydi. Mustaqillik yillarida amalga oshirilgan islohotlar va yangi siyosatlarining samarasida, qurilish sohasida sifatli o'zgarishlar, yangi texnologiyalarni joriy etish, arxitektura va infratuzilma sohalarida katta yutuqlarga erishildi. Mustaqillikdan so'ng qurilish sohasidagi modernizatsiya jarayoni boshlandi. Dastlabki yillarda, mamlakatimizda yangi sanoat ob'ektlari, turar-joylar, infratuzilma va yo'l qurilishi loyihalari amalga oshirila boshlandi.

Yangi shaharsozlik va uy-joy qurilishi sohasidagi o'zgarishlar butun O'zbekiston bo'ylab sezilarli bo'ldi. Shaharlar va qishloqlarda yangi turar-joy massivlari, yirik infratuzilma ob'ektlari qurilishi bilan birga, zamonaviy va ekologik toza qurilish materiallari ishlab chiqarish ham jadal rivojlana boshladi. Mustaqillik yillarida qurilish texnologiyalari va materiallari sohasida innovatsion yangiliklar joriy etildi. Yangi texnologiyalar, ayniqsa, beton, temir-beton va polimer materiallar ishlab chiqarishga alohida e'tibor qaratildi. Beton sanoatida kompozit materiallar, polimerlar, nanomateriallar va boshqa innovatsion qo'shimchalar yordamida betonning mustahkamligi, korroziyaga chidamliligi va ekologik xavfsizligi yaxshilandi. Bu o'zgarishlar qurilishning sifatini oshirishi bilan birga, iqtisodiy samaradorlikni ham ta'minlashda katta ahamiyat kasb etdi.

Sement sistemalarida material va energiya sarfini kamaytirish, shuningdek ularning xossalarni yaxshilash muammosida mineral modifikatorlar bilan beton strukturasini modifikatsiyalash sohasidagi tadqiqotlar muhim ahamiyatga ega.

Jahon bo'yicha qurilish sohasida ko'p qo'llaniladigan materiallardan biri bu betondir, ma'lumki oddiy beton tarkibi kimyoviy biriktiruvchi (sement, gips) modda, suv (briktiruvchi modda bilan kimyoviy reaksiya hosil qiladi), mayda to'ldiruvchi (qum) va yirik to'ldiruvchi (tosh) lardan iborat. Beton - bu qurilishda eng ko'p qo'llaniladigan materiallardan biri bo'lib, uning sifatini yaxshilash qurilishning mustahkamligini va uzoq muddatli ekspluatatsiyasini ta'minlaydi. Beton materiallari yuqori sifatli bo'lishi kerak, chunki ular turli xil tabiiy sharoitlarga, sovuqqa, issiqlikka, suvga, kimyoviy ta'sirlarga va boshqa omillarga bardosh berishi kerak. Beton - bu qurilishda eng ko'p qo'llaniladigan materiallardan biri bo'lib, uning sifatini yaxshilash qurilishning mustahkamligini va uzoq muddatli ekspluatatsiyasini ta'minlaydi.

**Adabiyotlar tahlili.** Beton materiallari yuqori sifatli bo'lishi kerak, chunki ular turli xil tabiiy sharoitlarga, sovuqqa, issiqlikka, suvga, kimyoviy ta'sirlarga va boshqa omillarga bardosh berishi kerak. Beton materiallarining asosiy ekspluatatsion ko'rsatkichlari — mustahkamlik, elastiklik, korroziyaga chidamlilik, issiqlikka va sovuqqa qarshilik kabi xususiyatlar betonning uzoq muddatli ishlashiga ta'sir qiladi. **Korroziya, namlik, yuqori va past haroratlar**, kimyoviy moddalarga ta'sir qilish va mexanik yuklar betonning samaradorligini kamaytiradi. Shu sababli,

 <https://orcid.org/0000-0002-1289-879X>

betonning sifatini yaxshilash, uning ekspluatatsion xususiyatlarini optimallashtirish bugungi kunda juda muhim masala bo'lib qolmoqda. Betonning sifatini yaxshilash uchun **kompozit bog'lovchilarni** qo'llash o'ziga xos yechimlardan biridir. Kompozit bog'lovchilar — bu betonning tarkibiga qo'shiladigan modifikatorlar bo'lib, ular betonning mustahkamligini, plastiklikni va boshqa xususiyatlarini yaxshilaydi.

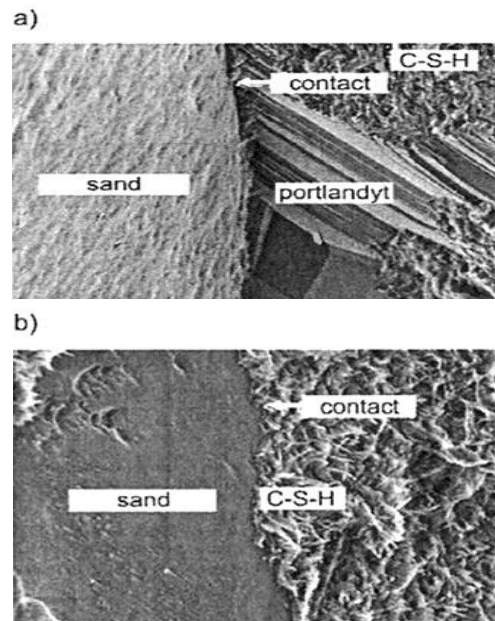
Misol uchun, **polimerlar, nanomateriallar, bioasoslangan modifikatorlar** va boshqa yangi materiallar yordamida betonning mustahkamligi va boshqa ekspluatatsion xususiyatlari optimallashtirilishi mumkin. Beton ishlab chiqarish texnologiyalari, ayniqsa, kompozit materiallar yordamida yangilanmoqda. Nanotexnologiyalar, yuqori texnologik modifikatorlar va boshqa innovatsion usullar betonga qo'shilishi mumkin. Bu, nafaqat betonning sifatini, balki uning iqtisodiy samaradorligini ham oshiradi. Betonni ishlab chiqish va qo'llash jarayonida texnologik sarflarni kamaytirish va resurslarni tejash muhim ahamiyatga ega. Agar kompozit bog'lovchilar yordamida betonning sifatini yaxshilash mumkin bo'lsa, bu nafaqat materiallar sifatini, balki ishlab chiqarish samaradorligini ham oshiradi.

Betonning sifatini yaxshilash uchun ilmiy izlanishlar va yangi texnologiyalarni ishlab chiqish nafaqat ilmiy sohada, balki amaliy qurilishda ham katta ahamiyatga ega. Beton sinovlari, laboratoriya ishlari va yangi formulalar yordamida betonning ekspluatatsion ko'rsatkichlari yaxshilanishi mumkin. Mavzuning dolzarbligi yuqori, chunki betonning yuqori sifatini ta'minlash qurilish sanoatida barqarorlikni, xavfsizlikni va iqtisodiy samaradorlikni oshiradi. Shu bilan birga, yangi texnologiyalar va kompozit bog'lovchilar yordamida betonning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash bugungi kunning dolzarb masalalaridan biridir.

Beton – qurilish materiallari orasida eng keng tarqalgan va muhim komponentlardan biri hisoblanadi. Betonning sifatini yaxshilash, uning ekspluatatsion ko'rsatkichlarini oshirish va resurslardan samarali foydalanish doimo ilmiy-tadqiqotlar va amaliyotda muhim masalalardan biri bo'lib kelmoqda. Bugungi kunda betonning sifatini oshirish uchun turli kompozit materiallardan foydalanish keng yoyilmoqda. Ushbu maqolada kul uchqundisi bilan betonning kompozit bog'lovchilari sifatini oshirish va ekspluatatsion ko'rsatkichlarini yaxshilash yoritiladi. Tajribaning asosiy maqsadi kul uchqundisidan foydalanib, betonning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash va uning mustahkamligini oshirishdir. Kul uchqundisi, asosan, termal energiya ishlab chiqarish jarayonlarida hosil bo'lgan chiqindilar bo'lib, betonning kompozit bog'lovchilari sifatida qo'shilsa, uning sifatini sezilarli darajada yaxshilashi mumkin. Bu esa nafaqat betonning mustahkamligini, balki ekologik jihatdan toza materiallarning ishlab chiqarilishini ta'minlaydi.

**Kul uchqundisi** – bu termal elektr stansiyalarida yoqilg'ilarni, asosan, ko'mirni yoqish jarayonida hosil bo'lgan chiqindi material. U ko'mirni yoqish orqali ishlab chiqarilgan gazlar va changlardan tozalangan qoldiq bo'lib, o'zining fizik va kimyoviy xususiyatlari tufayli qurilish materiallarida, ayniqsa beton ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Kul uchqundisi ko'plab sanoat sohalarda foydalanish imkoniyatlari yaratadigan resurs sifatida e'tirof etiladi. Kul uchqundisi betonning mustahkamligini oshiradi. Uning kimyoviy tarkibi beton aralashmasida tsementni almashtirish uchun ishlatiladi va betonning suyuqlikni o'ziga singdirishini kamaytiradi. Bu uning uzoq muddatli ishlashiga yordam beradi. Kul uchqundisi betonda

bog'lovchi sifatida ishlatilganda, betonning siqilish kuchi, elastikligi va chidamliligi yaxshilanadi. Betonning mustahkamligi kul uchqundisi miqdoriga qarab o'zgaradi, va ma'lum miqdorda qo'shilganda, beton yanada kuchli va bardoshli bo'ladi. Kul uchqundisi betonda bog'lovchi sifatida ishlatilganda, betonning siqilish kuchi, elastikligi va chidamliligi yaxshilanadi. Betonning mustahkamligi kul uchqundisi miqdoriga qarab o'zgaradi, va ma'lum miqdorda qo'shilganda, beton yanada kuchli va bardoshli bo'ladi. Kul uchqundisi arzon material bo'lib, beton ishlab chiqarishda qo'llanilishi ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytiradi. Shu bilan birga, kul uchqundisi betonning sifatini oshiradi, bu esa uzoq muddatli foydalanishda qo'shimcha xarajatlarni kamaytiradi. **"Angren TPP" (Angren Termal Elektr Stansiyasi)** – Angren shahri yaqinida joylashgan bu stansiya ham kul uchqundisi ishlab chiqaradi. Kul uchqundisi mahalliy qurilish materiallari uchun ishlatilishi mumkin.



**1-rasm. Pussolan xususiyatiga ega bo'lgan qo'shimchalarning (kul uchqindisi) kontakt zonasiga ta'siri; a-qo'shimchasiz, b-pussolan qo'shimchali tarkib**

Beton ishlab chiqarishda kompozit bog'lovchilar, odatda, tsementning o'rnini bosadigan yoki uning xususiyatlarini yaxshilaydigan moddalar sifatida ishlatiladi. Kompozit bog'lovchilar betonda mustahkamlik, elastiklik, issiqlikka qarshilik, suvga chidamlilik va boshqa fizik xususiyatlarni yaxshilashda yordam beradi. Quyida sement kompozitlarida eng ko'p qo'llaniladigan faol mikroto'ldirgichlar sharhi keltirilgan.

**Shlaklar (Slag):** Shlaklar — bu po'lat ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan chiqindi materiallar bo'lib, ular betonning mustahkamligini oshirishda ishlatiladi. Shlaklar, ayniqsa, portland tsementga nisbatan yuqori chidamlilik va issiqlik qarshiligiga ega bo'lib, betonning uzoq muddatli ishlashini ta'minlaydi.

**Silikatlar:** Silikatlar, masalan, metallarni qayta ishlashdan olingan chiqindilar, betonning mustahkamligini oshiruvchi komponent sifatida qo'llaniladi. Ular betonning kimyoviy tarkibiga kirib, uni mustahkamlashga yordam beradi va zararlanishlarni oldini oladi.

**Polimerlar:** Polimerlar, ayniqsa, polipropilen yoki polietilen kabi materiallar, betonning elastikligini oshirishda ishlatiladi. Ular betonning yuqori chidamliligini va mexanik



xususiyatlarini yaxshilaydi, shuningdek, betonning korroziyaga qarshilik ko'rsatishini kuchaytiradi.

**Po'lat Va Temir Oksidli Materiallar:** Po'lat va temir oksidi asosidagi kompozit bog'lovchilar betonning mexanik kuchini oshirishda qo'llaniladi. Po'lat tolalari yoki temir oksidi qo'shilishi betonning chidamliligini oshiradi va uni mexanik bosimlarga qarshi mustahkamlashga yordam beradi.

**Polimer-Mineral Kompozitlar:** Polimer va mineral materiallarning kombinatsiyasi betonning elastikligi va uzoq muddatli ishlashini yaxshilashga yordam beradi. Polimerlar betonga plastiklik va elastiklik qo'shadi, mineral komponentlar esa betonning mustahkamligini va chidamliligini oshiradi.

Kompozit bog'lovchilar beton sanoatida betonda mustahkamlik, chidamlilik va uzoq muddatli ishlashni yaxshilash uchun muhim vositadir. Ularning foydalanilishi beton ishlab chiqarish jarayonida samarali, iqtisodiy va ekologik jihatdan foydalidir. Kul uchqundisi, shlaklar, polimerlar va boshqa kompozit materiallar betonning sifatini yaxshilashda va qurilish materiallarini samarali ishlatishda yordam beradi. Kompozit bog'lovchilarni ishlatish nafaqat betonning fizika-mexanik xususiyatlarini oshiradi, balki atrof-muhitga zarar keltirishni kamaytiradi, bu esa barqaror qurilish rivojlanishini ta'minlaydi.

Sement sistemalarida material va energiya sarfini kamaytirish, shuningdek ularning xossalarini yaxshilash muammosida mineral modifikatorlar bilan beton strukturasini modifikatsiyalash sohasidagi tadqiqotlar muhim ahamiyatga ega.

O'zbekiston Respublikasida turli yillarda ko'p komponentli yuqori sifatli betonlar kompozitsiyalaridan foydalanish borasida A.I. Odilxo'jayev, A.A. To'laganov, E.U. Qosimov, M.K. Taxirov, N.A. Samigov, B.B. Xasanov, V.M. Soy, I.M. Maxamataliyev kabi yetuk olimlar ilmiy izlanishlar olib borgan.

## 2. Tadqiqot metodikasi

Portlandsement. Tadqiqotlarda og'ir beton tayyorlash uchun "Ohangaronsement" zavodining CEMI 32.5N markali portlandsementidan foydalanish reja qilingan. Portlandsementning fizik-mexanik ko'rsatkichlari 1 va 2-jadvallarda keltirilgan.

1-jadval

Portlandsementning fizik xossalari

Sement turi	O'rtacha zichligi, g/sm <sup>3</sup>	Haqiqiy zichligi, g/sm <sup>3</sup>	Maydalik darajasi		Normal quyuvqligi %
			Nisbiy sirt yuzasi sm <sup>2</sup> /g	№0,08 raqamli elakdagi qoldiq	
CEMI 32.5N "Ohangaronsement"	1,21	3,15	3200	8,5	27,0

2-jadval

Portlandsementning fizik-mexanik xossalari

Sement turi	Qotish vaqtining boshlanishi soat-daqq		28 sut. qotish muddatidagi mustahkamligi, MPa		Hamjining bir tekis o'zgarishi
	boshlanishi	tugashi	egilishga	siqilishga	
CEMI 32.5 N "Ohangaronsement"	1-10	6-20	5,80	33.6	Talabga javob beradi

Portlandsement klunkerining kimyoviy va mineral tarkibi 3 va 4-jadvallarda keltirilgan.

3-jadval

Portlandsementning kimyoviy tarkibi

Ko'rsatkichlarning nomlanishi	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Ko'rsatkichlarning qiymatlari, %	59,10	7,64	24,15	5,65	1,17	0,23	0,22	0,42

4-jadval

Portlandsementning mineralogik tarkibi

Ko'rsatkichlarning nomlanishi	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>
Ko'rsatkichlarning qiymatlari, %	61	14	7	16	1,5

Zamonaviy qurilish sanoatida betonning ekspluatatsion ko'rsatkichlarini yaxshilash va yuqori sifatli betonlarni kompozit bog'lovchilar bilan ta'minlash qurilish materiallarining samaradorligini va uzoq muddatli chidamliligini sezilarli darajada oshiradi. Betonning kompozit bog'lovchilari uning fizik-mexanik xususiyatlarini



yaxshilashga, shu bilan birga qurilishning ishonchligini va xavfsizligini ta'minlashga yordam beradi. O'zbekistonning zamonaviy qurilish sanoatida yangi materiallar va innovatsion yechimlar yordamida betonni takomillashtirish orqali ekspluatatsion ko'rsatkichlarni yaxshilash mumkin. Ushbu texnologiyalarning keng qo'llanilishi betonning sifatini oshirishi va ishlab chiqarish jarayonida yangi yondashuvlarni joriy etishi orqali qurilishning samaradorligini ta'minlaydi. Maqolada betonning kompozit bog'lovchilarini qo'llash, uning sifatini yaxshilash va ekspluatatsion ko'rsatkichlarni oshirish uchun amalga oshirilgan o'zgarishlar qurilishda yuqori natijalarga erishishga yordam berishini ko'rsatish mumkin.

### 3. Xulosa

Sement kompozit materiallari strukturasining shakllanishi, ishlab chiqarish texnologiyasini optimallashtirish ularni oqilona qo'llash yo'nalishlariga oid ilmiy-texnik adabiyotlarga sharh keltirilgan bo'lib, tahlildan quyidagilarni alohida ajratib ko'rsatish zarur. Beton qorishmalari va betonning sifatini oshirish uchun, ular tarkibiga bog'lovchi granulometriyasiga yaqin mayda dispers mineral qo'shimchalarni kiritish lozim. Bu turdagi qo'shimchalarni qo'llashning eng yuqori samarasiga dispersiyasi bog'lovchining maydaligiga yaqin bo'lgan turli tabiatli "kvars+karbonat" kombinatsiyasi asosidagi mikroto'ldirgichlardan foydalanish orqali erishish mumkin.

Zamonaviy materialshunoslik sohasining yetuk olimlari ekologik, iqtisodiy va resurstejamkorlik nuqtai nazaridan kelib chiqib, sement tizmlarida kremniy tarkibli sanoat chiqindilaridan foydalanish bir necha dolzarb muammolarni hal qilishini e'tirof qilishgan. Yuqori faollikga ega bo'lgan kul uchqindisining sement strukturasiga ma'lum noxush ta'sirini inobatga olib, karbonat tarkibli minerallar bilan birga qo'llash lozim hisoblanadi.

Kul uchqindisi va ohaktosh kukuni asosidagi binar qo'shimchali kompozit portlandsementi strukturasining shakllanish va gidratatsiya jarayonlarining o'ziga xosligi haqida keltirilgan munozarali fikrlarni inobatga olib, ushbu tadqiqotlarni o'tkazish dolzarb bo'lib qolmoqda.

Qotish davrida "kvars+karbonat" sistemasidagi binar qo'shimcha sement bog'lovchisining g'ovaklilik strukturasini

kirishish deformatsiyasi, mustahkamligi va boshqa ko'rsatkichlariga ta'siri yetarlicha tadqiq etilmagan.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] М. К. Пшембаев [и др.]. Поровая структура дорожного бетона // Наука и техника. 2016. Т. 15, № 4. С. 298–307.
- [2] А.И. Адилходжаев, И.М. Махаматалиев, В.М. Цой, И.А. Кадыров. Современные методы исследования поровой структуры строительных материалов. Учебно-методическое пособие. ТашИИТ, Т.: 2019, 96 стр.
- [3] Adilhodzaev A. I., Kadyrov I. A., Umarov K. S. Research of porosity of a cement stone with a zeolite containing filler and a superplasticificator //Journal of Tashkent Institute of Railway Engineers. – 2020. – Т. 16. – №. 3. – С. 15-22.
- [4] Adilkhodzhaev A. I., Kadirov I. A., Abdullaev U. K. SOME ISSUES OF MOISTURE TRANSFER IN CONCRETE. – 2021.
- [5] Самоуплотняющийся бетон – путь в будущее / Д. Шуттер // СРП. Междунар. бетон. пр-во. – 2013. – № 3. – С. 40–45.
- [6] Классификация размерностей наноструктур и свойства композиционных материалов / П. Г. Комохов [и др.] // Academia. Архитектура и стро. – 2008. – № 4. – С. 90–93.

### Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Abdiyeva Sitara Isomiddin qizi** Toshkent davlat transport universiteti  
E-mail: [abdiyevasitora58@gmail.com](mailto:abdiyevasitora58@gmail.com)  
Tel.: +998933553043

**Abdullaev Ulug'bek Xakimovich** Toshkent davlat transport universiteti  
E-mail: [1658781azizbek@gmail.com](mailto:1658781azizbek@gmail.com)  
Tel.: +998977284909  
<https://orcid.org/0000-0002-1289-879X>



## Study of the influence of the specific surface of river aggregate on the structure formation of non-autoclaved aerated concrete

D.F. Abdullayeva<sup>1</sup><sup>a</sup>, Sh.M. Sabirova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article presents the results of a study on the study of the optimal quantity and specific surface area of river sand from the Kuilyuk quarry. It has been established that adding river sand with a specific surface area of 2400 g/cm<sup>2</sup> to non-autoclaved aerated concrete increases the physical, mechanical and operational properties of the test samples.

**Keywords:** non-autoclaved aerated concrete, specific surface area, strength, water-solid ratio, multicomponent binders, hydraulic activity

## Исследование влияния удельной поверхности речного песка на структурообразование неавтоклавного газобетона

Абдуллаева Д.Ф.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Сабирова Ш.М.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследования по изучению оптимального количества и удельной поверхности речного песка Куйлюкского карьера. Установлено что ведение в состав неавтоклавного газобетона речного песка с удельной поверхностью 2400 гр/см<sup>2</sup> повышает физико механические и эксплуатационные свойства испытуемых образцов.

**Ключевые слова:** неавтоклавный газобетон, удельная поверхность, прочность, водотвердое отношение, многокомпонентные вяжущие, гидравлическая активность

### 1. Введение

Наиболее распространенный кремнезёмистый компонент является кварцевый песок, однако из-за отсутствия такого было принято решение использовать речной песок Куйлюкского карьера. Низкое содержание диоксида кремния, и крупная фракция все эти показатели в значительной степени снижают прочностные показатели, проектируемого неавтоклавного газобетона. Для увеличения активности и содержания диоксида кремния было принято решение о дальнейшем измельчении в шаровой мельнице до оптимальной удельной поверхности. [1]

### 2. Методология исследования

Процесс помола осуществляли сухим способом, предварительно высушив песок в сушильной камере. Рис 1. (сушка песка).



Рис. 1. Процесс сушки речного песка Куйлюкского карьера

Высушив до постоянной массы, песок Куйлюкского карьера измельчали в шаровой мельнице, на всем промежутке измельчения брали пробы для определения удельной поверхности, в результате чего удалось получить следующие удельные поверхности молотого песка: 1200; 2400; 3700 гр/см<sup>2</sup>. [3.4]

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0005-3398-8443>


<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1282-152X>



Рис. 2. Процесс измельчения речного песка

Для определения оптимальной удельной поверхности были разработаны следующие составы, результаты, которых представлены в табл. 1. В качестве результирующего фактора была принята прочность неавтоклавного газобетона. По полученным данным была построена графическая зависимость, анализ которой показал, наибольшую прочность при сжатии получили при использовании песка с удельной поверхности  $2400 \text{ гр/см}^2$ .



Рис. 3. Процесс определения удельной поверхности на ПСХ-11

Анализ полученных графических зависимостей, показал положительное влияние увеличение удельной поверхности песка на прочность неавтоклавного газобетона, это связано с тем, что при увеличении удельной поверхности увеличивается количество активных центров. [6.7]

Таблица 1

Определение оптимальной удельной поверхности песка Куйлюкского карьера

№	цемент	$S_{уд}=1200$	$S_{уд}=2400$	$S_{уд}=3700$	МК	Зола-Унос	В	ГП	В/Т	Al, %	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	NaOH	Рсж
1	1080	816			125 const	150 const	980,5	1	0.454	1 const	1 const	1 const	2,0
2	1080		816				1100,5	1	0.509				2,3
3	1080			816			1165	1	0.539				1,8

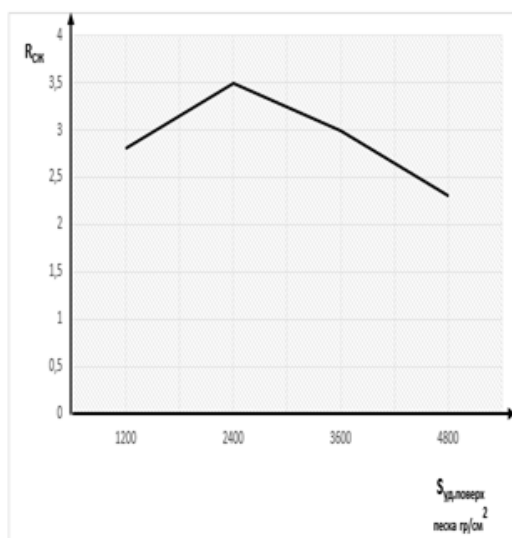


Рис. 4. Влияние прочности неавтоклавного газобетона от удельной поверхности песка Куйлюкского карьера, измельченного в шаровой мельнице

Вторым эффектом влияния изменения удельной поверхности повышение водотвердого отношения, этим можно объяснить снижение прочности на представленном графике.

Это подтверждается исследованиями микроструктуры композиционного вяжущего результаты которого приведены ниже.

Изучение микроструктуры неавтоклавного газобетона с кремнийсодержащими минеральными наполнителями является наиболее перспективной, которые по мнению авторов [5] проявляют наибольшую гидравлическую активность. Для изучения процессов гидратации наполненного цементного вяжущего были выполнены исследования поверхности излома материала с помощью растрового ионно-электронного микроскопа.

Микрофотографии поверхности излома бездобавочного цементного камня представлены на рис. 5. Как видно из рис. 5, бездобавочный цементный камень состоит из гидросиликатов кальция, сульфогидроалюминатов и гидросиликатов кальция. В порах присутствуют новообразования, но полного зарастания пор не наблюдается.



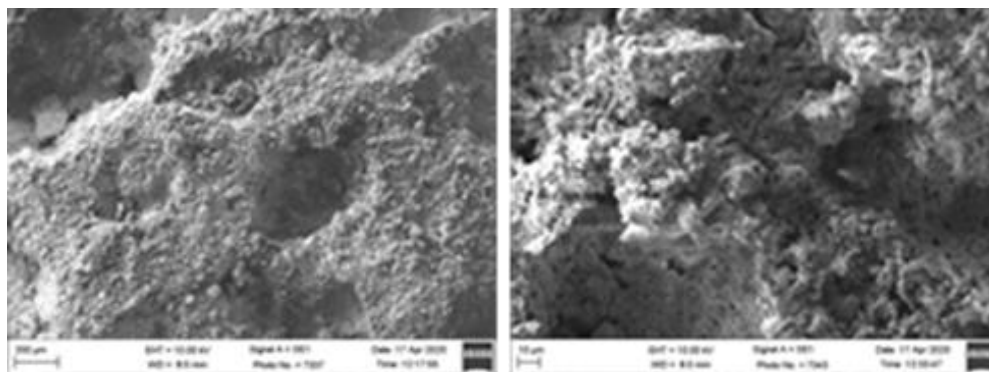


Рис. 5. Микрофотографии поверхности излома бездобавочного цементного камня, полученные в возрасте 28 суток

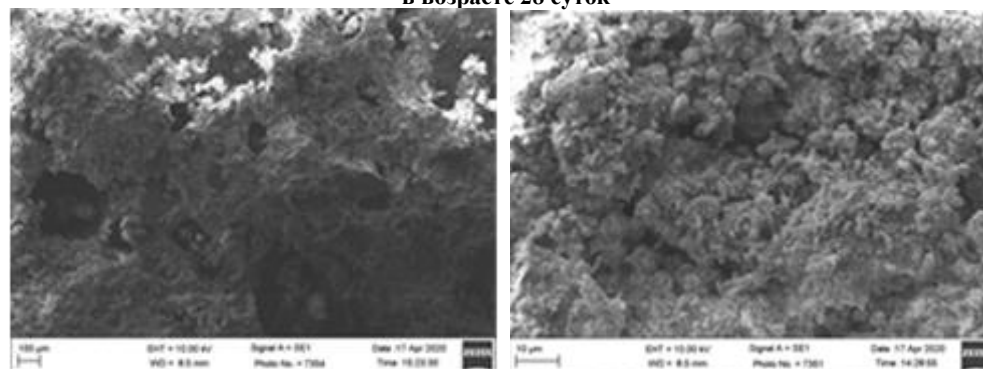


Рис. 6. Микрофотографии поверхности излома цементного камня с золой уноса+ сп, полученные в возрасте 28 суток

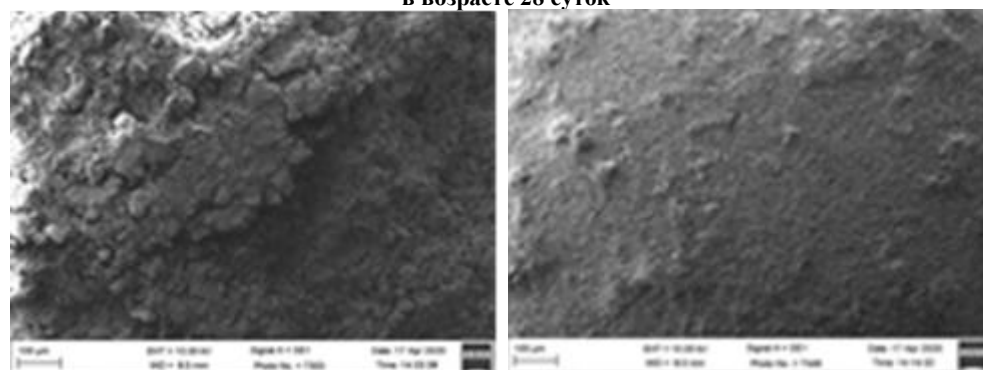


Рис. 7. Микрофотографии поверхности излома композиционного (МК+зола уноса+СП) цементного камня, полученные в возрасте 28 суток

На рис. 6-7 показано, что в образцах композиционного вяжущего в возрасте 28 сут. с добавкой МК наблюдается повышенная однородность монолита с ярко выраженной дисперсной фазой. Следующая особенность - высокая плотность структуры цементного камня с отсутствием видимых дефектов.

При структурообразовании просматривается возрастающая способность к уплотняющим свойствам тонкодисперсного кремнезема. На рис. 6-7 по зоне контакта четко проявляются каемки, состоящие из фаз новообразований. Поровая структура цементного камня с преобладанием микропор.

### 3. Заключение

Введение комплексной добавки зола уноса+МК+Полипласт бесспорно вносит свою

особенность в процесс структурообразования цементного камня.

Исходя из вышеперечисленных особенностей структурообразования благодаря механизму действия добавки полипласт в комплексе с добавкой МК+ зола уноса повышается прочность цементного камня за счет пуццоланово-активного воздействия твердеющей системы.

Для получения марки Д600 неавтоклавного газобетона с повышенными прочностными характеристиками необходимо использовать кремнеземистый компонент с удельной поверхностью 2400 гр/см<sup>2</sup>. Установлено, что полученная удельная поверхность достигается в течении 25 минут измельчения в шаровой мельнице, дальнейшее увеличение удельной поверхности снижает прочностные характеристики за счет увеличения водотвердого отношения.



## Использованная литература / References

- [1] Сахаров, Г.П. Неавтоклавный энергоэффективный поробетон естественного твердения [Текст] / Г.П. Сахаров, Е.П. Скориков // Известия вузов. Строительство. - 2005. - № 7. - С. 49-54.
- [2] Завадский, В. Ф. Производство стеновых материалов и изделий из бетона [Текст] /В. Ф. Завадский, А. Ф. Косач. - Новосибирск: НГАСУ, 2001. - 168 с
- [3] Леонтьев, Е.Н. К вопросу о неавтоклавном газобетоне [Текст] Е.Н. Леонтьев, О.А. Коковин // Технологии бетонов. - 2007. - № 5. - С. 50-52
- [4] Adilhodzhaev A.I, Tsoy V., Khodlhaev S. Umarov K. Research of the influence of silicon-organic hydrophobizer on the basic properties of Cement stone and mortar //
- [5] Tsoy V.M. Methodological foundations of the optimal design of compositions and the management of the physicochemical properties of multicomponent high-quality concrete / Abstract of a doctoral (DSc) dissertation on technical sciences // Tashkent, TACI, 2017.- 36 p.

## Информация об авторах/ Information about the authors

- |                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Абдуллаева<br/>Джамиля<br/>Фазилидиновна<br/>/Abdullaeva<br/>Djamilya<br/>Faziliddinovna</b> | Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра «Строительство зданий и промышленных сооружений», кандидат технических наук, доцент.<br>E-mail: <a href="mailto:abdullaeva.j@tstu.uz">abdullaeva.j@tstu.uz</a><br>Tel.: +998901749942<br><a href="https://orcid.org/0009-0005-3398-8443">https://orcid.org/0009-0005-3398-8443</a> |
| <b>Сабирова<br/>Шоишта<br/>Мираюповна/<br/>Sabirova Shoista<br/>Mirayupovna</b>                 | Ташкентский государственный транспортный университет<br>Старший преподаватель<br>E-mail: <a href="mailto:sabirovashoista1980@gmail.com">sabirovashoista1980@gmail.com</a><br>Tel.: +998971577675<br><a href="https://orcid.org/0000-0003-1282-152X">https://orcid.org/0000-0003-1282-152X</a>                                                    |



## Methodological basis for the use of additives for the production of complex modified cement binders

V.M. Soy<sup>1</sup><sup>a</sup>, D.F. Abdullayeva<sup>1</sup><sup>b</sup>, G.S. Nuriddinova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The results of theoretical and experimental research on the development of a scientifically based methodology for prescribing plasticizing chemical additives and mineral fillers in the selection of compositions of complex modified concrete (CMC) at the stage of their design are presented. A classification of plasticizing additives is proposed according to the degree of reduction in the surface tension of water upon their introduction and the activity of mineral additives according to the indicator of reduced hydration activity, which makes it possible to obtain highly economical BMPs with the required properties.

**Keywords:** concrete, classification of additives, modification, plasticizer, mineral filler, surface tension, adsorption centers, hydration activity

## Методологические основы применения добавок для получения комплексно-модифицированных цементных вяжущих

Цой В.М.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Абдуллаева Д.Ф.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Нуриддинова Г.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Приведены результаты теоретико-экспериментальных исследований по разработке научно обоснованной методики назначения пластифицирующих химических добавок и минеральных наполнителей при подборе составов комплексно-модифицированных бетонов (КМБ) на этапе их проектирования. Предложена классификация пластифицирующих добавок по степени снижения поверхностного натяжения воды при их введении и активности минеральных добавок по показателю приведенной гидратационной активности, позволяющие получать высокоэкономичные КМБ с требуемыми показателями свойств.

**Ключевые слова:** бетон, классификация добавок, модификация, пластификатор, минеральный наполнитель, поверхностное натяжение, центры адсорбции, гидратационная активность

### 1. Введение

В настоящее время бетон окончательно утвердился в качестве основного строительного материала в мировой практике строительства. Этому способствовали такие его основные достоинства, как широкий комплекс свойств, высокая технологичность, доступность сырьевой базы, архитектурная привлекательность, универсальность применения, экологичность и экономичность [1].

Вместе с тем за последние десятилетия наблюдается революционный характер развития бетоноведения, проявляющийся в появлении новых видов бетона с уникальными свойствами, получившими название бетонов нового поколения (БНП).

К бетонам нового поколения относятся high performance concrete (HPC), отличительной чертой которых является достижение ими максимальных показателей технологичности, прочности, плотности и долговечности [2]. Согласно [3], HPC – это инженерный материал, в котором одно или несколько его специфических свойств улучшены путем обоснованного

подбора компонентов, проектирования состава и ухода за твердеющим бетоном.


**Литературный анализ.** Ярким примером композитов нового поколения являются современные бетоны, реализованные в Научно-исследовательском институте бетона и железобетона (НИИЖБ, Россия) [4]. В этих материалах блестяще реализуются потенциальные функциональные свойства компонентов бетонных смесей и бетонов. Чрезвычайно высокие возможности бетона и железобетона реализованы авторами в технологиях reactive powder concrete (RPC), а также macrodefect free concrete (MDC) [4].

Во Франции и США в практике строительства широко применяется технология ультрафункциональных бетонов (UHPC), которые отличаются высокой прочностью на сжатие (> 200 МПа) и на изгиб (> 50 МПа) [5, 6].

К разряду БНП относится и self-compacting concrete (SCC). В таких бетонах кардинально решена главная технологическая задача, связанная с минимизацией материальных, энергетических и трудовых ресурсов при достижении заданных свойств бетона [6, 7].

В отечественной практике бетоноведения к бетонам нового поколения относятся и многокомпонентные высококачественные бетоны (МВБ), разработанные

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0009-7560-2691>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0005-3398-8443>

коллективом авторов под руководством д.т.н., проф. А.И. Адыходжаева [8]. Эти бетоны содержат в своем составе золу-уноса ТЭС, суперпластифицирующую добавку ЖК-08 и отличаются высокими прочностными и эксплуатационными свойствами.

Как известно, подбор составов традиционных бетонов без добавок не составляет большого труда, методики их расчета являются классическими и приводятся в учебниках и учебных пособиях по строительному материаловедению [9]. Отличительной особенностью модифицированных бетонов (МБ) является наличие в их составе пластифицирующей химической добавки или тонкодисперсного минерального наполнителя, методика назначения составов с их использованием также отражено в учебных и научных публикациях [10, 11].

Что касается комплексно-модифицированных бетонов (КМБ), то необходимо отметить, что несмотря на большое количество научных трудов, посвященных этому виду бетонов, вопрос разработки методики подбора их состава с назначением рационального вида минеральных наполнителей в комплексе с пластифицирующими химическими добавками практически остается неизученным.

Авторами статьи впервые сделана попытка разработки научно обоснованной методики выбора минеральных наполнителей и пластифицирующих химических добавок для КМБ.

## 2. Методология исследования

По предлагаемой методике оценка пластифицирующих химических добавок производится по критерию, представляющему собой степень снижения поверхностного натяжения воды при их введении.

В основу такого подхода положена способность пластифицирующей добавки снижать показатель поверхностного натяжения воды при определенной температуре раствора. По нашему мнению, технологические параметры приготовления, количество вводимого наполнителя и свойства активируемого наполненного вяжущего и бетона существенно зависят от химического состава, строения и пластифицирующей способности вводимой добавки.

Для экспериментальных исследований были приняты следующие виды местных и наиболее доступных пластифицирующих химических добавок и соответствующие им пределы дозирования в процентах от массы цемента (на сухое вещество): лигносульфонат технический (ЛСТ) – (0,10-0,25)%, кубовая жидкость натрий-карбоксиметилцеллюлозы (КНЖ) – (0,3-0,9)%, сточные воды капролактама (СВК) – (0,3-0,9)%, суперпластификатор С-3 – (0,3-0,9)% [12].

На первом этапе исследований изучалось влияние химических добавок на степень снижения поверхностного натяжения воды по методике [11]. В результате проведенных экспериментов были получены изотермы поверхностного натяжения водных растворов химических добавок в зависимости от их дозировки (рис. 1), представляющие собой семейство ниспадающих кривых с явно выраженной зоной перехода от вертикального к наклонному и горизонтальному участкам.

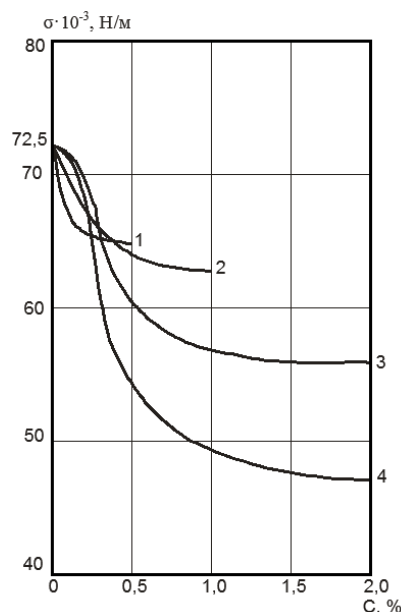


Рис. 1. Изотермы (при  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ) поверхностного натяжения  $\sigma$  химических добавок в зависимости от их концентраций  $C$  в водном растворе  
1, 2, 3, 4 – химические добавки ЛСТ, КНЖ, СВК, С-3

Такой вид кривых на рис. 1 объясняется тем, что, в соответствии с уравнением Гиббса [13], при увеличении концентрации химических добавок возрастает их содержание на межфазной поверхности, приводящее к снижению поверхностного натяжения водных растворов. Причем при малых концентрациях химических добавок эффект снижения поверхностного натяжения водных растворов более значителен, чем при повышенных дозировках. Характерная же область на изотермах, относящаяся к переходу от вертикального к горизонтальному участку снижения величины  $\sigma$ , свидетельствует о предельном насыщении адсорбционного слоя молекулами химических добавок, которая, как было установлено, соответствует области их рациональных концентраций.

Таким образом, изотермы изменения поверхностного натяжения от концентрации водных растворов химических добавок могут быть положены в основу их характеристики по степени пластифицирующей способности и, следовательно, по их поверхностно-активным свойствам – чем ниже расположена изотерма поверхностного натяжения, тем сильнее проявляется пластифицирующая способность добавки. Более того, области рациональных дозировок химических добавок можно охарактеризовать относительным показателем поверхностного натяжения  $\bar{\sigma}$ , представляющим собой отношение величины поверхностного натяжения при предельном насыщении адсорбционного слоя молекулами химической добавки к поверхностному натяжению раствора без добавки. В частности, для исследуемых добавок показатель  $\bar{\sigma}$  составляет следующие значения: ЛСТ – 0,90-0,92; КНЖ – 0,88-0,90; СВК – 0,78-0,80; С-3 – 0,67-0,70.

Анализ полученных значений относительного показателя поверхностного натяжения  $\bar{\sigma}$  позволяет предложить классификацию химических добавок по эффекту пластификации с учетом их поверхностно-активных свойств, приведенную в табл. 1.



Таблица 1

## Классификация пластифицирующих химических добавок по поверхностно-активным свойствам

Относительный показатели поверх-ностного натяжения $\bar{\sigma}$ , отн. ед.	Характеристика добавки по эффекту пластификации
$\bar{\sigma} > 0,95$	Слабый пластификатор
$0,85 < \bar{\sigma} \leq 0,95$	Средний пластификатор
$0,75 < \bar{\sigma} \leq 0,85$	Сильный пластификатор
$\bar{\sigma} \leq 0,75$	Суперпластификатор

Применительно к исследуемым химическим добавкам относительный показатель поверхностного натяжения  $\bar{\sigma}$  позволяет расположить изученные нами добавки в следующий убывающий ряд по эффекту пластификации: С-3 > СВК > КНЖ ≥ ЛСТ, характеризующий снижение их пластифицирующей способности.

Целесообразность такой классификации пластифицирующих химических добавок заключается в том, что их эффективность оценивается по конкретному численному значению показателя  $\bar{\sigma}$  – относительному показателю поверхностного натяжения, аналог которого может быть использован и при научно-обоснованном выборе для цементных бетонов дисперсных минеральных наполнителей.

В предлагаемой методике выбора минеральных добавок для КМБ используется классификация наполнителей для цементных бетонов по показателю их гидратационной активности [14-16], позволяющему наиболее точно оценить вклад поверхностной активности минеральных наполнителей на ход течения процессов, протекающих в гидратируемой системе.

В основе определения показателя гидратационной активности минеральных наполнителей используются экспериментально полученные графические зависимости распределения на их поверхности центров адсорбции  $q$  в зависимости от константы кислотности  $pK_a$ , показанные на рис. 2 для базальтового наполнителя и золы-уноса ТЭС.

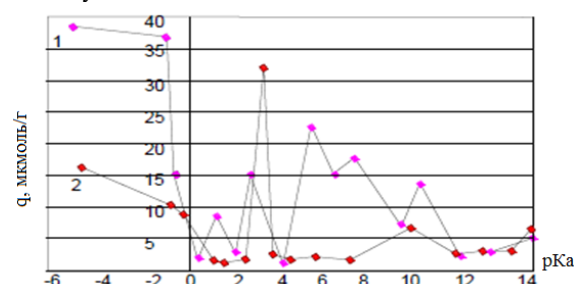


Рис. 2. Распределение центров адсорбции  $q$  на поверхности базальтового наполнителя (1) и золы-уноса ТЭС (2) в зависимости от константы кислотности  $pK_a$

Таблица 2

## Содержание центров адсорбции на поверхности минеральных наполнителей

№ п/п	Минеральный наполнитель	Количество центров $P \cdot 10^3$ , мг-экв/г, в диапазонах значений $pK_a$				Общее количество центров, мг-экв/г
		-4...0	0...7	7...13	$\geq 13$	
		$P_{ol}$	$P_{kb}$	$P_{ob}$	$P_{kl}$	$P$
1	Песок кварцевый	8,04	9,11	8,75	1,88	27,78
2	Песок барханный	4,12	7,08	9,95	1,07	22,22
3	Глиеж	13,22	16,47	10,08	2,87	42,64
4	Базальт	23,41	22,15	11,16	1,96	58,68
5	ОЭП	41,18	5,48	9,34	1,14	57,14
6	ОМП	6,61	23,88	16,37	4,32	51,18
7	Зола-уноса ТЭС	43,14	27,61	11,77	5,32	87,84
8	ЦП	102,08	24,88	12,62	2,14	141,72

Примечания. 1. Сокращения: ОЭП – отходы электроплавильного производства; ОМП – отходы медеплавильного производства; ЦП – цеолитсодержащая порода. 2. Общее количество центров составляет  $P = P_{kb} + P_{kl} + P_{ol} + P_{ob}$ . 3. ЦП – цеолитсодержащая порода

Для оценки поверхностных свойств минеральных наполнителей представляется целесообразным использование обобщенного критерия – показателя приведенной гидратационной активности  $P_{pga}$ , рассчитываемого по формуле

$$P_{pga} = P_{kb} + P_{kl} + 0,33P_{ol} - 0,1P_{ob} \quad (1)$$

где  $P_{kb}$ ,  $P_{kl}$ ,  $P_{ol}$ ,  $P_{ob}$  – количество центров адсорбции соответственно в областях  $0 \leq pK_a < 7$ ;  $pK_a \geq 13,0$ ;  $-4 < pK_a < 0$ ;  $7,0 \leq pK_a < 13$  в  $10^{-3}$  мг-экв/г.

Данный критерий, характеризующий кислотно-основные свойства поверхности минеральных

наполнителей, позволяет научно-обосновано классифицировать минеральные наполнители по степени их воздействия на цементные системы.

В общем случае предлагается следующая классификация минеральных наполнителей по критерию  $P_{pga}$  – показателю приведённой гидратационной активности, характеризующему потенциальную их эффективность в цементных системах, оцениваемую сокращением расхода цемента (табл. 3).





Таблица 3

Классификация минеральных наполнителей по показателю приведенной гидратационной активности  $R_{pga}$ 

№ п/п	Тип минерального наполнителя	Значения критерия $R_{pga}$ , отн. ед.	Сокращение расхода цемента, %
1	Слабоактивный	$0 \leq R_{pga} < 10$	До 10
2	Среднеактивный	$10 \leq R_{pga} < 25$	10-20
3	Сильноактивный	$25 \leq R_{pga} < 50$	20-30
4	Суперактивный	$R_{pga} \geq 50$	30-50

Для использованных в исследованиях минеральных наполнителей показатели приведённой

гидратационной активности  $R_{pga}$  приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения критерия  $R_{pga}$  для минеральных наполнителей

№ п/п	Минеральный наполнитель	Значения $R_{Ka}$ , отн. ед.				Преобразованные данные		Критерий $R_{pga}$ , отн. ед.
		-4...0	0...7	7...13	$\geq 13$	$0.33R_{ob}$	$0.1 R_{ol}$	
1	Песок Кварцевый	8,04	9,11	8,75	1,88	2,65	0,87	12,77
2	Песок барханный	4,12	7,08	9,95	1,07	1,36	0,99	8,52
3	Глиез	13,22	16,47	10,08	2,87	4,36	1,01	22,39
4	Базальт	23,41	22,15	11,16	1,96	7,72	1,12	30,71
5	ОЭП	41,18	5,48	9,34	1,14	13,59	0,93	19,28
6	ОМП	6,61	23,88	16,37	4,32	2,18	1,64	28,74
7	Зола-уноса	43,14	27,61	11,77	5,32	14,23	1,18	46,68
8	ЦП	102,08	24,88	12,62	2,14	33,68	1,26	59,44

Примечание: ОЭП – отходы электроплавильного производства; ОМП – отходы медеплавильного производства; ЦП – цеолитсодержащая порода

Сравнительный анализ приведенных в табл. 4 минеральных наполнителей по критерию  $R_{pga}$  позволяет выполнить для них ранжировку эффективности в цементных системах и охарактеризовать их по степени активности: песок барханный – слабоактивный; песок кварцевый, глиез, ОЭП – среднеактивные; базальт, ОМП, зола-уноса Ангренской ТЭС – сильноактивная и цеолитсодержащая порода – суперактивная.

Разработанная классификация минеральных наполнителей по предложенному критерию оценки кислотно-основных свойств поверхности минеральных наполнителей  $R_{pga}$  показала высокую сходимость полученных данных с результатами ранее выполненных исследований с позиции оценки их эффективности при проектировании различных видов цементных бетонов и растворов, что позволило положить ее в основу разработанной методики научно обоснованного выбора этих добавок для получения рациональных составов КМБ [16].

### 3. Заключение

Предложенная классификация пластифицирующих добавок по относительному показателю поверхностного натяжения и минеральных наполнителей по их поверхностно-активным свойствам позволила ранжировать такие модификаторы соответственно по пластифицирующему эффекту и активности, которая служит основанием для научно-обоснованного выбора модификаторов при получении, в частности, высокоэкономичных КМБ с требуемыми показателями свойств.

### Использованная литература / References

- [1] Ушеров-Маршак А.В. Современный бетон и его технологии / Сб. «Бетон и железобетон». СПб, Изд. «Славутич», 2009, с. 20-24.
- [2] Aitchin P.-C., Neville A. High-Performance Concrete Demystified. Coner. Intern. 1993, Vol. 15, №1, p. 21-26.
- [3] Edvard G., Nawy P. Fundaments of High Performanse Concrete. Sec. ed. Willy. 2001. – 302p.
- [4] Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-ое изд.- М.: 1998. – 768 с.
- [5] Walraven J. Concrete for a new centure / Proc. of the ist fib congress, 2006, p. 11-22.
- [6] Баженов Ю.М. Технология бетонов XXI века / Академические чтения РААСН. Новые научные направления строительного материаловедения. Часть 1. Белгород, 2005. С.9-20.
- [7] Hillemeiez B., Buchenau G., Herr R. Spezialbeton, Betonkalander 2006/1, Ernst Sbnh, p. 534-549.
- [8] Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. и др. Инновационные материалы и технологии в строительстве/ Монография под общ ред. Адылходжаева А.И., Т.: «Фан ва технология», 2016. – 292 с.
- [9] Рыбьев И.А. Строительное материаловедение / Учеб. Пособие для ВУЗов –М: Высшая школа, 2004. – 701 с.
- [10] Баженов Ю.М. Технология бетона/ Ю.М.Баженов.-М.:Изд.АСВ,2011. – 524 с.



[11] Дворкин Л.В. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. -К.: «Будивельник», 1991. – 136 с.

[12] Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1998. – 768 с.

[13] Хаскова Т.Н. Коллоидная химия: Поверхностные явления и дисперсные системы: Учебное пособие / Т.Н.Хаскова, П.М. Кругляков. – Пенза, ПГАСА, 2003. – 152 с.

[14] Adylkhodzhaev A.I., Makhamataliev I.M., Kadyrov I. A., Ruzmetov F.Sh. To the Question of the Influence of the Intensity of Active Centers on the Surface of Mineral Fillers on the Properties of Fine-Grained Concrete. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), Volume-8 Issue-9S2, July 2019, ISSN: 2277-3075 (Online), p. 219-222.

[15] Adylkhodzhaev A.I., Makhamataliev I.M., Tsov V. M., Turgaev J.F., Ruzmetov F.Sh. Assesment of Reinforcement Corrosion in High-Filled Ash-Containing Concrete. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), Volume-8 Issue-12, October 2019, ISSN: 2278-3075 (Online), p. 4464-4466.

[16] Adylkhodzhaev A.I., Makhamataliev I.M., Tsov V. M., Turgaev J.F., Umarov K.S. Theoretical bases of optimization of concrete microstructure with application of the improved of mathematical planning of experiments. International Journal of Advanced Science and Technology (IJAST), Volume-8 Issue-9S2, July 2019, ISSN 2207-6360. (Online), p. 210-219.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Цой Владимир  
Михайлович/  
Soy Vladimir  
Mikhaylovich**

Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра «Строительство зданий и промышленных сооружений», доктор технических наук, профессор.

E-mail: [Volodya\\_tsoy@inbox.ru](mailto:Volodya_tsoy@inbox.ru)  
<https://orcid.org/0009-0009-7560-2691>

**Абдуллаева  
Джамиля  
Фазилидиновна  
/Abdullaeva  
Djamilya  
Faziliddinovna**

Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра «Строительство зданий и промышленных сооружений», кандидат технических наук, доцент.

E-mail: [abdullaeva.j@tstu.uz](mailto:abdullaeva.j@tstu.uz)  
<https://orcid.org/0009-0005-3398-8443>

**Нуриддинова  
Гавхар  
Садуллаевна /  
Nuriddinova  
Gavhar  
Sadullaevna**

Ташкентский государственный транспортный университет, кафедра «Строительство зданий и промышленных сооружений», докторант



# Mechanical activation of limestone and study of its granulometric composition

U.Kh. Abdullayev<sup>1</sup> <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article The activation of solids under the influence of mechanical loads is described by many scientists as a multi-stage process in terms of changes in their free energy, entropy (irreversibly dissipated energy) and enthalpy (energy available for conversion to heat at constant pressure), and the influence of such properties as mechanical stages on the quality, strength and durability of concrete is shown. The possibility of increasing the quality of concrete through the use of these technologies in the construction industry in Uzbekistan is also discussed.

**Keywords:** high-quality concrete, composite binders, operational characteristics, fly ash, slags, polymers, concrete strength, durability, construction industry, innovative technologies, concrete compositions, Uzbekistan construction industry

## Ohaktoshni mexanik faollashtirish va uning granulometrik tarkibini tadqiq etish

Abdullayev U. X.<sup>1</sup> <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqola qattiq jismlarning mexanik yuklar ta'sirida faollashishi ularning erkin energiyasi, entropiyasi (qaytarilmas ravishda tarqaladigan energiya) va entalpiyasi (doimiy bosimda issiqlikka aylanish uchun mavjud bo'lgan energiya) o'zgarishi nuqtai nazaridan ko'pgina olimlar tomonidan ko'p bosqichli jarayon sifatida ifodalangan va mexanik bosqichlari kabi xossalari betonning sifatiga, mustahkamlik va chidamliligiga ta'siri ko'rsatilgan. Shuningdek, O'zbekistondagi qurilish sanoatida ushbu texnologiyalarning qo'llanilishi orqali beton sifatining oshishi mumkinligi muhokama qilinadi.

**Kalit so'zlar:** high-quality concrete, limestone, composite binders, performance indicators, polymers, concrete strength, granulometric composition, durability, construction industry, innovative technologies, concrete compositions, construction industry of Uzbekistan

### 1. Kirish

Qattiq jismlarning mexanik yuklar ta'sirida faollashishi ularning erkin energiyasi, entropiyasi (qaytarilmas ravishda tarqaladigan energiya) va entalpiyasi (doimiy bosimda issiqlikka aylanish uchun mavjud bo'lgan energiya) o'zgarishi nuqtai nazaridan ko'pgina olimlar tomonidan ko'p bosqichli jarayon sifatida ifodalangan va mexanik bosqichlarining sababli bog'liqliklarining ma'lum bir ketma-ketlikda yuz berishi ta'kidlangan [1-2].

Mexanik faollashtirishning birinchi bosqichida, materialning yemirilishidan oldin, qattiq elastik-mo'rt jismlarning chegaraviy mustahkamlikdan oshmaydigan kuchlanishlar ta'sirida kristall panjaraning deformatsiyasi tufayli qoldiq kuchlanish zonalarini hosil bo'ladi. Birinchi bosqichda qattiq jismning energiya holatining o'zgarishi tashqi ta'sirni yuzaga keltiruvchi ish rejimiga bog'liq [1-2].

Ikkinchi bosqichda yangi yuzalarni hosil bo'lishi boshlanadi va moddaning energiya holati o'zgaradi (maydalash apparatining mexanik energiyasini maydalangan materialning sirt energiyasiga aylananadi) [1-2]. Modda faollashtirishda, yemirilishdan oldingi qoldiq kuchlanish zonalarining shakllanishida akkumulyatsiya qilingan energiya nisbatan qisqa vaqt va faqat past haroratlarda saqlanadi. Haroratning 100 °S dan yuqori darajaga ko'tarilishi qoldiq kuchlanishlarning relaksatsiya tezligini keskin oshiradi va mavjud qoldiq kuchlanish zonalarini qisqartiradi.

Uchinchi bosqichda faollashtirilayotgan modda zarralari o'lchamlari kichrayib, bunda sirt qatlamidagi energiyaning kondensatsiyasi tufayli qattiq moddaning termodinamik funksiyalari va kimyoviy xossalari tubdan o'zgaradi. Erkin sirtning kattalashishi, zarrachalar o'lchami va ular egrilik radiusining kichrayishi moddaning erkin energiyasi va faolligining o'zgarishiga yordam beradi.

Aktivlashtirishning to'rtinchi bosqichida moddaning mayinlashuvi sodir bo'ladi. Boshlang'ich material xossalari va tuzilishidan tamomila boshqa turdagi elementar tarkibga ega bo'lgan moddaga aylanadi. Amorf moddaning shakllanish paytida jamlangan energiya, fizik-kimyoviy sharoitlar kristall fazaning shakllanishi uchun qulay bo'lishiga qadar saqlanib qoladi [1-2].

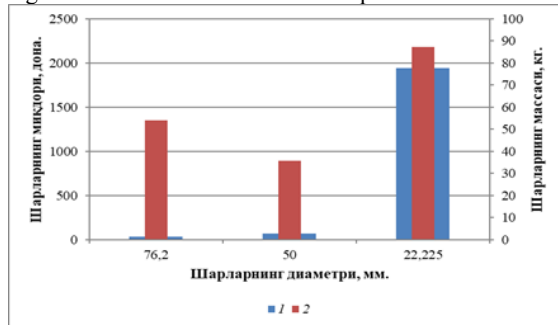
### 2. Tadqiqot metodikasi

Kul uchqindisi IESlarda ko'mirmi yoqish natijasida hosil bo'ladi va elektrfiltrlar tomonidan tutib qolinib, so'ng maxsus to'plagichlarda quruq holatda saqlanadi. Uning dispersligi 3700 sm<sup>2</sup>/g ni zarralarning o'rtacha diametri 6,3 mkm ni tashkil etadi. Tabiiyki yuqori disperslikka ega bo'lgan materialni aktivlashtirish talab etilmaydi. Shuning uchun tadqiqotlarda ohaktoshning mexanik faollashtirish jarayonidagi maydalanuvchanligi (1-rasm), zarralarning o'rtacha diametri (3-rasm), agregatsiya hodisasi (4-rasm) tadqiq etilgan.

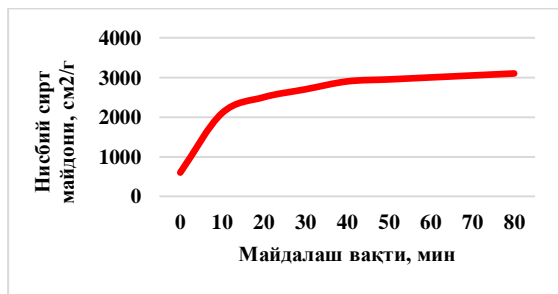
<sup>a</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-1289-879X>



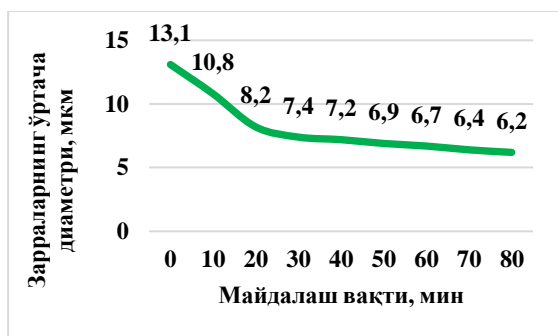
Ohaktosh ILLIM-100 laboratoriya sharli tegirmonining zarbli-edirilish rejimida maydalandi. Tegirmon kamerasining hajmi 100 litrni tashkil etib, shundan 40 litri toblangan turli diametrlı po'lat sharlar bilan to'ldirilgan (2-rasm). Tegirmonga yuklangan material miqdori kameraning umumiy hajmining 25 % ni tashkil qildi. Tadqiq etilayotgan material domiy massaga qadar quritish javonida 105-110°C haroratda quritildi. Maydalik darajasi PICX-11A uskunasi yordamida baholandi va agregatsiya holatini aniqlash uchun №008-sonli elakdan foydalanildi. Granulometrik tarkibni o'rganishda Microsizer201 uskunasi qo'llanildi.



1-rasm. Sharli tegirmonga yuklangan sharlarning soni va diametri: 1-sharlar soni; 2-sharlar massasi



2-rasm. Ohaktoshni sharli tegirmonning zarbli-yedirilish rejimida maydalaganda nisbiy sirt maydonining o'zgarishi



3- rasm. Zarralarning o'rtacha diamteri

Olingan tadqiqot natijalari material 80 daqiqa mobaynida maydalanganda uning nisbiy sirt maydoni 3100 sm<sup>2</sup>/g ni tashkil etishini ko'rsatdi. Shu bilan birga, zarrachalarning o'rtacha diametri 13.1 mikrondan 6,2 mikrongacha kichraydi.

Material 70 daqiqa davomida maydalanganida agregatsiya holati kuzatildi va 3.4-rasmda ko'rsatilgan ma'lumotlar ham buni tasdiqlaydi. 50 daqiqa maydalangan kukunning №008-sonli elakdagi qoldiqlari 63.1 % dan 19.2 % gacha bir tekis kamayadi. Mexanik faollashtirishning 60-daqiqasiga kelib elakdagi qoldiq 19.2 % dan 27.2 % oshadi va bu holda zarralarning yopishish holati kuzatildi. O'z

navbatida, ushbu holatdan so'ng mexanik faollashtirishni davom ettirish maqsadga muvofiq emasligi kelib chiqishini ta'kidlash joiz.



4-rasm. Maydalash davomiyligining zarralar agregatsiyasiga ta'siri

Sementning qurilish-texnik xossalriga ta'sir qiluvchi eng muhim ko'rsatkichlardan biri (suv talabligi, qotish muddati, kirishishdagi chiziqli deformatsiyalanishi, mustahkamlik) – zarrachalarning massa ulushini tavsiflovchi sementning granulometrik tarkibi hisoblanadi.

Umuman olganda, barcha portlandsementlarda kattaligi 80 mikrongacha zarrachalarning umumiy ulushi kamida 85 % (sement sistemasida qo'llaniladigan mikroto'ldirgichlarning granulometrik tarkibi ham bog'lovchiga muvofiq yoki unga yaqin) bo'lishi lozim.

Sement ilmiy-tadqiqot instituti olimlarining tadqiqotlarida [4] portlandsement uchun quyidagi granulometrik tarkib tavsiya etilgan:

- o'lchami 5 mikrondan kichik fraksiyalar - 5-12 %;
- o'lchami 5-30 mikron oralig'idagi fraksiyalar-30-50 %;
- o'lchami 30 mikrondan yirik fraksiyalar-30-45 %;
- o'lchami 60 mikrondan katta fraksiyalar-15 % dan kam.

Granulometrik tarkiblarni tahlil qilishda ohaktoshning agregatsiya holatigacha bo'lgan nisbiy sirt yuzalari tadqiq etildi.

Granulometrik tarkibni aniqlash natijalarining tahlili qo'shimchasiz portlandsementning nisbiy sirt maydoni 3080 sm<sup>2</sup>/g, hamda o'lchami 5 dan 60 mikrongacha bo'lgan zarrachalar mayin kukun bo'lib, ular 61 % qismi 30 mkm dan va 17,1 % qismining o'lchami esa 5 mikrondan kichikligini ko'rsatdi.

To'ldirgich va mikroto'ldirgich moddalarining faolligini oshirish uchun ular ko'pincha bog'lovchi kiritilishidan oldin turli yo'llar bilan, masalan, burdalash paytida sirt faol moddalarni qo'shish, zarrachalar yuzasini yangilash, minerallashtirish (noorganik bog'lovchilar bilan organik to'ldiruvchilarni to'yintirish) mexanik faollashtirish va shu kabi yo'llar bilan ishlov beriladi. Ortiqcha erkin sirt energiyasi bilan faza chegaralarining mavjudligi suspenziya, sement, mikroto'ldirgich kabi nisbatan qo'pol tizimlarning texnologik xatti-harakatlariga sezilarli ta'sir qiladi. Kul/gel zarracha o'lchamlari 10-100 nm oralig'ida tavsiflanadi. Ushbu zarrachalarning energiyasi ushbu o'lovchi tizimda juda faol bo'ladi. Suyuq dispersli muhit bilan bir hil yopishqoq dispersli tizimning kolloid zarralari dispersiyasining bu quyi chegarasi zarrachalarga ta'sir qiluvchi tashqi (tortishish) va ichki kuchlarga (kontakt ta'sirlashuvda ularning yopishish kuchlari) nisbati bilan belgilanadi. Bu holda nisbat qiymatlari birdan past bo'lishi kerak. Qattiq fazaning past zichligida, suyuqlikning yuqori zichligi va kontaktlararo o'zaro ta'sirning muhim energiyasi bilan 100 nm o'lchamdagi zarralar kolloid



nanostrukturalarga tegishli bo'ladi. Shu munosabat bilan, 100 mikronli zarra o'lchami tizimi "sement-mikroto'ldirgich-suv" [4] nanozarralarining o'rtacha o'lcham chegarasiga tegishli bo'ladi.

Mikrokremnezem. Asosan beton ishlab chiqarishda qo'llaniladigan, kelib chiqishi texnogen bo'lgan mayda dispers kukun materialdir. Bu qo'shimchani yuqori dispersligi uni mikroto'ldirgich sifatida samarali qo'llash imkoniyatini yaratadi. Gidratatsiya paytida kalsiy gidroksidi bilan intensiv reaksiyaga kirishish xususiyatiga ega. Amorf tuzilishi va juda katta nisbiy sirt yuzasi (taxminan 20000 sm<sup>2</sup>/g) tufayli mikrokremnezem sement asosidagi tizimlarda yuqori faollikka ega qo'shimcha sifatida ishlatiladi. Kelib chiqishi texnogen bo'lgan bu qo'shimcha betonning suv o'tkazmaslik xossasi, uning mustahkamligi va kimyoviy va mexanik ta'sirlarga chidamliligini yaxshilashga ko'maklashadi. Beton qorishmasiga mikrokremnezemning qo'shilishi "bog'lovchi+to'ldiruvchi" o'rtasidagi adgeziyani va qorishmaning suvni ushlab turish qobiliyatini yaxshilaydi. Bu qo'shimcha qorishmaning suv iste'molini ko'paytirishi bilan ajralib, shuning uchun undan foydalanilganda, odatda, plastifikator yoki superplastifikatorlar bilan birga qo'llash tavsiya etiladi.

Tavsiya etilgan qo'shimcha miqdori sement massasining 2-15 % ini tashkil etadi. Qo'shimchani kerakli miqdori betonning talab etiluvchi xossalarga bog'liq holda eksperimental ravishda aniqlanadi. O'tkazilgan tadqiqotlarda [5] da 9500sm<sup>2</sup>/g disperslikka ega mineral qo'shimchani sement tarkibiga kiritish 7 kunlik namunaning 50 % ga yaqin gidrosilikat kalsiy mineralini bog'lagani va past asosli gidrosilikat kalsiy birikmalarini hosil qilgani keltirib o'tilgan. Shu bilan birga, qo'shimcha qorishmaning suv talabligini keskin oshirgani va armatura korroziyasini kuchaytirgani keltirilgan.

Ko'p komponentli polifunksional qo'shimcha [6] da taklif etilgan bo'lib, uning tarkibi zarrachalari diametri 3 mikrondan kichik bo'lgan faol mikrokremnezem va dolomitdan tashkil topgan. Dolomitdan foydalanish kompozit bog'lovchining suvga talabchanligini 27 % ga kamaytirishga yordam bergan va sement toshining korroziyaga chidamliligi bir necha barobar oshishiga olib kelgan.

Seolitlar. Tabiiy kelib chiqishga ega bo'lgan seolitlardan portlandsement yoki shlakportlandsementlarida qo'shimcha sifatida foydalanish bog'lovchi va ularga asoslangan qurilish materiallarining xossalari yaxshilashga olib keladi [7]. Seolit qo'shimchasining o'z xosligi shundaki, bu turdagi mineral yuqori ion almashinuvchanlikka ega va bog'lovchilarning suv talabligi ortishiga olib keladi. Yuqori ion almashinuvchanligi bog'lovchi minerallari bilan reaksiyaga kirishuvchanligini ta'minlaydi va natijada sement kompozitlari mustahkamligi ortishiga olib keladi [8]. Seolit tog' jinsini (10%) va kul uchqindisini (20%) binar mikroto'ldirgich sifatida birga qo'llash sement toshi mustahkamligini oddiy qo'shimchali tarkibga nisbatan 5-7 MPa ga oshirishi ilmiy izlanishlarda ta'kidlangan [9].

Metakaolin. Bu qo'shimchani sement tizimida qo'llash taklif etilgan. Uni ishqoriy faollashtirish yuqori sifatli bog'lovchi ishlab chiqarishni ta'minlaydi. Metakaolindan foydalanish sement gidratatsiya jarayonida hosil bo'luvchi kalsiy gidroksidni bog'lashni ta'minlaydi. Qo'shimcha narxini arzonlashtirish uchun termik faollashtirilgan kaolindan foydalanish afzalroq hisoblanadi. U 74,5 % kaolinit o'z ichiga 750°C haroratda kuydirilgan kaolindan olinadi. Termik faollashtirilgan kaolin pussolan faolligining

namoyon bo'lishiga, sement matritsasi zichligi va mustahkamligi 15 % ga ortishiga olib keladi.

Beton chiqindilari. O'tkazilgan ilmiy tadqiqot ishida markasi 52,5 MPa bo'lgan portlandsement asosida olingan beton chiqindilarini keyinchalik 75 mikrondan kichik o'lchamdagi fraksiyaga ajratish uchun burdalash va fraksiyalash amalga oshirilgan. Olingan dispers kukun 650 °C haroratda kul uchqindisi va domna shlaki bilan birgalikda (20-50 %) kuydirilib qo'llanilgan. Olingan materiallar, ushbu qo'shimchalar miqdori bir xil bo'lgan hamda 32,5 markali sementdan bir xil S/S nisbati bilan tayyorlangan kompozitlarga nisbatan pastroq mustahkamlik ko'rsatkichiga egaligi keltirilgan. Shu bilan birga, 60 sutkalik paytida kul uchqindisidan va domna shlakidan birga qo'shib foydalanishda ularning mustahkamligi mos ravishda 30 MPa va 40 MPa ni tashkil etgan.

Shisha sanoati chiqindilari. Portlandsement asosidagi bog'lovchilar tarkibiga maydalangan shisha chiqindisini qo'shish (85-95 %) buyumlar mustahkamligi va sovuqqa chidamliligini oshirishga yordam beradi. Shu bilan birga, ularning nisbiy sirt yuzasiga qarab quyidagi fraksiya tarkibi tavsiya etiladi: 1000 - 2000 sm<sup>2</sup>/g – 2,5-7,5%; 3000 - 3500 sm<sup>2</sup>/g – 1,25 - 3,75%; 4000 - 4500 sm<sup>2</sup>/g - 1,25 - 3,75% .

Mexanik faollashtirilgan shisha sanoati chiqindilarini binar qo'shimcha "kvars-ohaktosh" sifatida foydalanish 55 % gacha bog'lovchini tejash imkonini berishi isbotlangan [10].

Kul uchqindisi. Ko'p sonli tadqiqotlar kelib chiqishi texnogen bo'lgan kullarni sement tizimida qo'llashga bag'ishlangan.

Kul uchqindisi o'ta yuqori kimyoviy faollikka ega va suv ishtirokida sementning gidratatsiya jarayonida hosil bo'lgan kalsiy gidroksidi bilan o'zaro ta'sirlashadi, hamda sement toshini mustahkamlovchi kalsiy gidrosilikatlarining hosil bo'lishiga olib keladi.

Kul uchqindisidan foydalanishda bir qator afzalliklar mavjud:

- sementni tejaydi;
- sement tarkibida birga qo'llash bog'lovchining ekzotermiyasi pasayishiga olib keladi va qalinligi 70 sm katta bo'lgan massiv inshootlarni bunyod qilish imkoniyatini yaratadi;
- betonning agressiv ta'sirlarga qarshiligini oshiradi;
- betonning zichligi, mustahkamligi va boshqa mexanik ko'rsatkichlarini yaxshilaydi;

Mineral mikroto'ldirgichlar. Turli tabiatli kompleks mikroto'ldirgichni olish uchun Yangi Angren IES kul uchqindisi va ohaktoshdan (Muruntov) foydalanildi.

Issiqlik elektr stansiyalarining chiqindilari asosan ikki toifaga bo'linadi: kul shlaklari va kul uchqindisi, ular bir-biridan utilitatsiya qilinish usuli bilan farqlanadi. Adabiyot manbalariga ko'ra, kul uchqindisi sement kompozitsiyalari uchun kul shlaklariga nisbatan samaraliroq qo'shimcha hisoblanadi. Kul uchqindisining muhim xususiyatlaridan biri – uning yuqori gidravlik faolligi bo'lib, bu hol kremniy va alyuminiy oksidlarining klinker minerallarini gidrolizlash jarayonida ajralib chiqadigan kalsiy gidroksidi bilan kimyoviy o'zaro ta'sirlanishida namoyon bo'ladi. Oqibatda kalsiy gidrosilikatlar va kalsiy gidroaluminatlar hosil bo'lib, sement toshi zichlashadi va mustahkamlik oshishiga olib keladi.

Kulning yuqori dispersiyasi gidratatsiyalanish paytida bog'lovchi komponentlarga nisbatan uning yuqori faolligini bashorat qilish omilidir. Kulda mavjud bo'lgan polidispers sferalar silliq shishasimon yuzaga ega. Adabiyot



manbalaridagi ma'lumotlarga ko'ra, shishasimon silliq fazalar amorf alyumosilikat birikmalari bilan ifodalanadi.

Muruntov konining ohaktoshi kompleks mikrotol'dirgichni olish uchun karbonat jinsi sifatida qabul qilindi. Karbonat jinsining kimyoviy va mineral tarkibi 1-2-jadvallarda keltirilgan.

1-jadval

## Karbonat xom ashyosining tarkibi va xossalari

Nomlanishi	Tarkibi, %		O'rtacha mustahkamligi yoki markasi, Mpa	O'rtacha zichligi, kg/m <sup>3</sup>	Muzlashga bardoshligi, davr
	CaO	MgO			
Ohaktosh (Muruntov)	54.7	1.0	39.7	2812	25

2-jadval

## Karbonat jinsining mineral tarkibi

Mineralogik tarkibi (%)	Ohaktosh (Muruntov)
Kalsit	98
Kvars	2
Muskovit	-
Montmorillonit	-
Dolomit	-

Kimyoviy qo'shimcha. Sement sistemalarining suvga bo'lgan ehtiyojini kamaytirish va uning talab etilgan reologik ta'minlash uchun superplastifikatordan foydalanish maqsadga muvofiq.

Tadqiqot ishida respublikamizning qurilish materiallari bozorida nisbatan keng tarqalgan oltita superplastifikatordan eng maqbuli tanlandi (3-jadval). Bu tajribalar Hagerman konusi yordamida sement qorishmasining yoyilishini o'lchash orqali amalga oshirildi. Namunalar tayyorlashda suv-sement nisbati 0,27 ga teng deb qabul qilindi. Sement hamiridagi superplastifikatorming dozasi 0,8 % ni tashkil qildi. Konusning tarqalishini o'lchash vaqti sement xamirini aralashtirish tugagandan so'ng aniqlandi. Qorishmani aralashtirish vaqti 6 daqiqani tashkil etdi.

Olingan natijalarni o'zaro taqqoslash konusning yoyilishining eng yuqori qiymatlariga erishishda polikarboksilat efirlari asosidagi POLIMIX plastifikatordan foydalanish maqsadga muvofiqligini ko'rsatdi.

3-jadval

## Turli xil superplastifikatorlar ta'siri ostida sement xamirining yoyilishi, mm

O'lchovlarning boshlanish vaqti, daqiqada	Melflux 1641 F (Germaniya)	Melflux 5581 F (Germaniya)	JK-02 (Xitoy)	POLIMIX (O'zbekiston)	Plv (FM) (Rossiya)	JK-08 (Xitoy)

0	280	350	250	350	130	250
5	370	370	260	370	120	260
25	380	350	240	370	100	240

Ushbu kimyoviy qo'shimchani qo'llashning yana bir ijobiy jihatlardan biri – superplastifikator mahalliy ishlab chiqarilishi tufayli import o'rini bosadi va tannarxining pastligi bilan boshqa qo'shimchalarga nisbatan arzon hisoblanishi bilan bog'liq. Yuqorida keltirilganlarni hisobga olgan holda kimyoviy qo'shimcha sifatida ARMENT CONSTRUCTION CHEMICALS firmasining POLIMIX polikarboksilat efirlariga asoslangan yangi avlod yuqori samarali superplastifikatorlari qo'llanilgan.

## 3. Xulosa

1. Sement tarkibidagi OK va KU asosidagi binar qo'shimchalari qo'llash, sement xamirining qotish davri uzayishiga olib keladi.

2. OK va KU mineral qo'shimchalarini kompleks qo'llash portlandsement qorishmasidan suvni ajratish koeffitsiyentini KU qo'shimchali va etalon tarkiblariga nisbatan sezilarli darajada kamaytirishga ko'maklashishadi.

3. Shuningdek binar mikrotol'dirgichlar qo'llangan tarkibda kontraksiya deformatsiyasining qolgan tarkiblariga nisbatan biroz pasayishi yuz berdi. Klinkerning bir qismini OK bilan almashtirish sementning qotish jarayonida kirishish hajmining sezilarli kamayishiga olib keldi.

4. Tarkibida turli mineral qo'shimchalari mavjud bo'lgan portlandsementning g'ovakli tuzilishini tadqiq etish etalon tarkib va KU (25 %) bilan modifikatsiyalangan tarkiblar struktura qattiqlashuvining boshlang'ich davrida yirik kappilyar g'ovaklarning katta miqdori bilan tavsiflanishini ko'rsatdiki. Shlakning bir qismini OK (15 %) bilan almashtirish sement toshining etalon tarkibga nisbatan umumiy g'ovakliligini 33 % ga kamayishiga olib keladi. KU bilan modifikatsiyalangan tarkibga nisbatan OK qo'shilgan tarkibda yirik o'lchamli g'ovaklarning salmog'i kamayib, kichik hajmli g'ovaklarning soni ortishi aniqlandi.

6. Binar qo'shimchalarning sement toshi kimyoviy korroziyaga chidamliligiga ta'sirini o'rganish, ularning portlandsement tarkibida qo'llash korroziyaning uchta asosiy turiga (ishqorning yuqilishi, karbonat anhidrid va sulfat korroziyalari) qarshiligini kuchaytirishini ko'rsatdi.

## Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Кадиров И.А. Комплексно-модифицированные бетоны с наполнителями из цеолитсодержащей породы. Ташкент. Дис... к.т.н. 2020, 157 с.

[2] Адылходжаев А. И., Кадыров И. А., Умаров К. С., Назаров А. А. К вопросу механоактивации цеолитсодержащих пород // Известия Петербургского

университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2019. – Т. 16, вып. 3. – С. 489–498.3.

[3] Кравченко И.В. Высокопрочные и особо быстротвердеющие поргландцементы / И.В.Кравченко, М.Т.Власова, Б.Э.Юдович. – М.: Издательство литературы по строительству. – 1971. – 133 с.

[4] Комохов П. Г. Последовательный системно-дискретный анализ образования и развития трещин в тяжелом бетоне / П. Г. Комохов, Р. Л. Сорокко // Совершенствование технологии производства бетонов повышенной прочности и долговечности : тез. докл. 4-й респ. конф. – Уфа : НИИПромстрой, 1985. – С. 12–13.

[5] Anderson D. A preliminary assessment of the use of an amorphous silica residual as a supplementary cementing material / D. Anderson, A. Roy, R. K. Seals, F.K. Cartledge, H. Akhter, S. C. Jones // Cem. and Concr. Res.-2000.-Vol. 30.- N 3.-P.437-445.

[6] Mitomo Shoji K. K. Molded bodies of cement type admixed and kneaded material having excellent bending strength and compression strength and a method of manufacturing the same / K.K. Mitomo Shoji.-Sonoda Hiroki.- Kaga Kikuo.- Nitta Tatsuo.-Toyama Masakazu.- Osawa Seihachi.-Kato Kazumi – N 08/ 525612, заявл. 25.03.94., опублик. 15.02.00.

[7] Голубничий А.В. Влияние цеолитосодержащих цементов на свойства керамзитобетонов / А.В. Голубничий, П.П. Пальчик //

Киев. Инж.- строит. ин-т. – Киев, 1992.- 20 с.-деп. в Укр ИНТЭИ 01.06.92, N 781-Ук92.

[8] Изотов В.С. Рациональное использование цеолитсодержащих пород / В.С. Изотов, Н.Н. Морозова, В.Г. Хозин // Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций.- Волгоград: Изд-во Волг ГАСА, 1998.-Ч. 1 – С. 60-62.

[9] Таймасов Б.Т. Комплексное использование природного и техногенного алюмосиликатного сырья в производстве вяжущих материалов//Международная научно практическая конференция, Москва, 12-13 ноябрь., 2008.- М.: РХТУ, 2008.- С. 476-478.

[10] Соломатов В.И. Цементные композиции с бинарным наполнителем / В.И. Соломатов, Б.В. Буркасов, М.М. Дегтярева // Изв. вузов. Стр-во – 1995.- N 9.-С. 32-37.

## Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Abdullayev** Toshkent davlat transport universiteti,  
**Ulug'bek** Toshkent, O'zbekiston  
**Xakimovich** E-mail: [1658781azizbek@gmail.com](mailto:1658781azizbek@gmail.com)  
Tel.: +998977284909  
<https://orcid.org/0000-0002-1289-879X>



## Prospects for the use of artificial intelligence capabilities in the production of gypsum-concrete tongue-and-groove boards

J.R. Turgunbaeva<sup>1</sup><sup>a</sup>, I.M. Makhamataliyev<sup>1</sup>, I.O. Kuznetsova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

**Abstract:** This paper explores the prospects of applying artificial intelligence (AI) technologies in the production of gypsum concrete tongue-and-groove panels. The main stages of the manufacturing process are analyzed in terms of the potential for implementing intelligent systems, including automated mix design, quality control of raw materials and finished products, as well as optimization of logistics and energy consumption. Special attention is given to the use of machine learning methods for predicting the strength characteristics of panels based on raw material parameters and production conditions. It is noted that the integration of AI contributes to increased precision, reduced production costs, and improved environmental sustainability. The study emphasizes the high potential of digitalization and the adoption of intelligent technologies in the construction industry.

**Keywords:** artificial intelligence, gypsum concrete, tongue-and-groove panel, production automation, construction industry digitalization, quality control, production process optimization building materials, intelligent systems

## Перспективы использования возможностей искусственного интеллекта в производстве гипсобетонных пазогребневых плит

Тургунбаева Ж.Р.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Махаматалиев И.М.<sup>1</sup>, Кузнецова И.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения, Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация:** В данной работе рассматриваются перспективы применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в производстве гипсобетонных пазогребневых плит. Анализируются основные этапы производственного процесса, где возможно внедрение интеллектуальных систем, включая автоматизированное проектирование составов, контроль качества сырья и продукции, а также оптимизацию логистики и энергозатрат. Особое внимание уделено использованию методов машинного обучения для прогнозирования прочностных характеристик плит на основе параметров сырья и условий производства. Отмечено, что внедрение ИИ способствует повышению точности, снижению производственных издержек и улучшению экологической устойчивости. Работа подчеркивает высокий потенциал цифровизации и интеллектуализации строительной отрасли с использованием современных ИИ-технологий.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, гипсобетон, пазогребневая плита, автоматизация производства, цифровизация строительной отрасли, контроль качества, оптимизация производственных процессов, строительные материалы, интеллектуальные системы

### 1. Введение

В рамках "Стратегии развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года" утвержденной постановлением Президента Республики Узбекистан от 14 октября 2024 года, определены приоритетные направления, такие как внедрение проектов на основе искусственного интеллекта в стране, формирование технической инфраструктуры и широкое применение возможностей искусственного интеллекта (ИИ) в технологических процессах во всех отраслях экономики и сферах жизни. Развитие цифровой экономики в Узбекистане, эффективное внедрение ИИ и инновационных технологий в производство, а также предоставления передовых знаний по искусственному

интеллекту для молодежи и специалистов будет способствовать к значительному прогрессу в экономике и устойчивому её развитию.

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в производство пазогребневых плит (ПГП), может быть очень полезным с точки зрения оптимизации технологических процессов, улучшения качества продукции и повышения эффективности производства.

Пазогребневые плиты (ПГП) — это строительные материалы, которые представляют собой плиты, изготовленные из гипса и армированные сеткой, с системой пазов и гребней на боковых поверхностях. Это позволяет их легко и быстро монтировать, создавая крепкие и устойчивые соединения между плитами. ПГП имеют стандартные размеры, которые облегчают транспортировку и монтаж. Плиты достаточно легкие по весу, но при этом обладают хорошими прочностными

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6961-595X>





характеристиками. ПГП часто используются для возведения внутренних перегородок в жилых и коммерческих зданиях, так как они обеспечивают хорошую звуко- и теплоизоляцию. Легкость материала делает его подходящим для строительства в районах с

повышенными требованиями к сейсмостойчивости. Преимущества ПГП — это простота монтажа, экологичность, высокая степень тепло- и звукоизоляции, а также огнестойкость (рис. 1).



Рис. 1. Пазогребневые плиты (ПГП), производимая в СП "Норкулов-Муборак"

Производители ПГП семейного предприятия "Норкулов-Муборак" сталкиваются с рядом проблем, которые могут повлиять на себестоимость и качество продукции. Производство ПГП требует значительных энергетических затрат, особенно на этапе сушки и формования изделия. Нестабильное качество продукции технологические погрешности требуют строгого соблюдения технологического регламента, иначе возможны проблемы с качеством: плитки могут иметь дефекты, такие как трещины, неравномерная плотность или неправильные размеры. Соблюдение влажности и температуры условий хранения и транспортировки изделий, а также устойчивости к температурным колебаниям в процессе производства также очень важны. Неправильный контроль за этими параметрами может привести к деформации плит или ухудшению их эксплуатационных характеристик. Ограниченная жизнеспособность на рынке в условиях растущей конкуренции и появления новых альтернативных материалов, заставляет производителей ПГП постоянно работать над улучшением качества продукции, снижением себестоимости и расширением ассортимента.

В целом, для преодоления этих проблем производителям ПГП необходимо инвестировать в современные технологии, для улучшения качества сырья, а также оптимизацию производственных процессов для снижения затрат и повышения устойчивости продукции на рынке. Для решения стоящих перед производителями этих проблем представляется целесообразным использование возможностей искусственного интеллекта (ИИ) при производстве ПГП, который может быть очень полезным с точки зрения оптимизации технологических процессов, а также улучшения качества продукции и повышения эффективности производства.

## 2. Методология исследования

Использование возможностей искусственного интеллекта (ИИ) в производстве ПГП может включать несколько методов, которые помогут улучшить технологические процессы, повысить качество продукции и снизить производственные издержки. Использование ИИ при планировании производства даст возможность анализировать данные о доступности сырьевых материалов, что будет способствовать сокращению времени на выполнение заказов и повышению гибкости производства. Анализ и управление энергетическими ресурсами для их мониторинга в процессе производства также позволит снизить затраты на энергоресурсы и повысить экологическую устойчивость предприятия.

### Роль ИИ в современных производственных процессах

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в различные отрасли уже показало свою эффективность, и многие производственные процессы стали более автоматизированными и оптимизированными благодаря передовым технологиям. Внедрение этих технологий при производстве поможет решить такие актуальные проблемы как:

- **Мониторинг качества:** использование компьютерного зрения для выявления дефектов плит в реальном времени, автоматическое отклонение дефектных изделий.
- **Прогнозирование спроса:** анализ данных о потребительских предпочтениях и трендах для оптимизации производства плит и минимизации складских остатков.
- **Оптимизация расхода материалов и энергии:** использование ИИ для оптимизации



процессов с целью снижения потерь материалов и энергозатрат.

**Автоматизация и точность производственного процесса:** использование роботов и автоматических систем управления для упрощения и ускорения технологических операций. Использование автоматизации производственного процесса позволит

гарантировать высокую точность в производстве пазов и гребней, что уменьшит количество дефектных плит и повысит эффективность монтажа. В отличие от традиционного производства, где возможны ошибки в процессе заливки, использование автоматических систем управления исключает этот фактор (рис. 2).



Рис. 2. Автоматизация и точность технологических процессов производства ПГП

Из приведенных выше примеров видно, как ИИ может существенно улучшить процессы, связанные с производством, контролем качества и логистикой, а также помочь в прогнозировании и оптимизации сбыта продукции. Внедрение ИИ в производство ПГП может принести схожие преимущества, включая повышение качества, снижение затрат и повышение общей эффективности производственного процесса.

Преимущества внедрения ИИ: снижение себестоимости продукции, улучшение качества и минимизация брака, повышение производительности, снижение экологических рисков (например, через уменьшение отходов).

Использование возможностей ИИ в производстве, в частности при производстве ПГП, несет с собой определенные вызовы и трудности, одним из которых являются **высокие первоначальные затраты**. Рассмотрим подробнее, какие именно расходы могут быть связаны с внедрением технологий ИИ, а также какие меры могут быть предприняты для их снижения.

Для эффективного внедрения ИИ в производство требуется специальное оборудование и инфраструктура. Это могут быть сенсоры и камеры для сборки данных в реальном времени (например, для контроля качества плит с использованием компьютерного зрения). Эти устройства могут быть дорогостоящими, особенно если они должны быть высокотехнологичными и способны работать в сложных условиях производства. Затраты на разработку и внедрение программного обеспечения ИИ-системы нуждаются в специализированном программном обеспечении, которое необходимо разработать и адаптировать под специфические требования производства: это разработка алгоритмов и моделей для обработки данных и принятия решений (например, для анализа дефектов на плитах или прогнозирования оптимальных параметров для производства). Это требует привлечения специалистов в области машинного обучения, что связано с дополнительными расходами.

Меры по снижению затрат, несмотря на высокие первоначальные затраты, существует несколько

подходов, которые могут помочь снизить финансовую нагрузку на предприятие:

**Постепенное внедрение ИИ:** Вместо того чтобы сразу интегрировать все системы, можно начать с пилотных проектов, внедряя ИИ постепенно, начиная с определенных участков или процессов (например, автоматизация контроля качества). Это позволит снизить риски и растянуть затраты.

**Государственные субсидии и гранты:** Во многих странах существуют программы поддержки инноваций и технологических преобразований для предприятий, особенно в таких областях, как автоматизация производства. Это может помочь снизить начальные затраты.

**Партнёрства с технологическими компаниями:** В некоторых случаях выгодно сотрудничать с компаниями, которые уже предлагают готовые решения для автоматизации и ИИ. Это может существенно снизить расходы на разработку собственных технологий с нуля.

Хотя внедрение ИИ в производство ПГП может потребовать значительных первоначальных инвестиций в оборудование, программное обеспечение и обучение персонала, эти затраты могут быть оправданы в долгосрочной перспективе за счет увеличения производительности, снижения себестоимости и улучшения качества продукции. Важно тщательно продумать стратегию внедрения, чтобы минимизировать риски и эффективно использовать доступные ресурсы.

В будущем интеграция ИИ и других технологий в производство строительных материалов, таких как производство ПГП, открывает новые возможности к значительному прогрессу как в сфере экономической устойчивости предприятия, так и энергоэффективности и экологической безопасности производства. Инновационные технологии, такие как использование ИИ для оптимизации состава материалов, внедрение технологии 3D-печати, создание умных строительных компонентов и интеграции Интернета в информационное обеспечение, будут не только улучшать производственные процессы, но и способствовать созданию более эффективных материалов для изготовления изделий и конструкций, соответствующих экологическим стандартам будущего.

### 3. Заключение

Подводя итоги изучения вопроса об использовании возможностей ИИ в производстве ПГП и дальнейших перспективах его внедрения, можно заключить, что это даст бесспорные преимущества как производителям, так и потребителям. ИИ имеет огромный потенциал для революционизации производства гипсобетонных пазогребневых плит. Использование возможностей ИИ несомненно приведет к улучшению качества продукции, повышению энергоэффективности производства, снижению себестоимости изделий и более устойчивому экономическому состоянию предприятия. Для производителей гипсобетонных ПГП это означает увеличение прибыли и конкурентоспособности, а для потребителей — доступ к высококачественным, экологически чистым и экономичным строительным материалам и изделиям. Внедрение ИИ в эту отрасль —

это не только шаг к инновациям, но и важный вклад в устойчивое будущее строительной индустрии.

### Использованная литература / References

- [1] Иванов С.А., Петров И.Н. Искусственный интеллект в строительной отрасли: возможности и перспективы // Строительная механика и расчет сооружений, 2021. — №3. — С. 15–22.
- [2] Кузнецов А.В. Цифровизация производства строительных материалов с применением технологий ИИ // Технологии строительных материалов, 2022. — №4. — С. 40–46.
- [3] Сидоров В.П. Автоматизация и интеллектуальные системы в производстве строительных изделий // Вестник промышленной автоматизации, 2020. — №2. — С. 30–35.
- [4] ГОСТ 6428-18. Плиты гипсобетонные пазогребневые. Технические условия. — Москва: Стандартинформ, 2018.
- [5] Барышников С.Н., Козлова И.А. Применение искусственного интеллекта в строительстве: возможности и перспективы // Вестник строительной науки. — 2022. — №4. — С. 45–52.
- [6] Алиев Р.А., Бабаев А.Ф. Интеллектуальные системы в автоматизации строительных производств // Технология строительства. — 2021. — №3. — С. 38–44.
- [7] Khosrowshahi, F., & Arayici, Y. (2012). Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry // Engineering, Construction and Architectural Management, 19(6), 610–635. DOI: 10.1108/09699981211277531
- [8] Zhang, J., & Mahadevan, S. (2020). Application of machine learning methods in material design and structural optimization // Materials & Design, 192, 108708. DOI: 10.1016/j.matdes.2020.108708
- [9] Сорокина Е.В. Гипсобетон и изделия на его основе: свойства, производство, применение // Современные строительные материалы. — 2020. — №2. — С. 12–17.
- [10] Глушков С.Ю. Цифровые технологии и ИИ в промышленном строительстве // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2023. — №1. — С. 25–31.
- [11] Zhang, X., & Teizer, J. (2021). Automation and artificial intelligence in construction: A review of current technologies and future directions. Automation in Construction, 122, 103438.
- [12] Li, H., & Lu, M. (2020). Smart construction materials and AI-driven quality control systems. Journal of Building Engineering, 29, 101122.
- [13] Kim, J., & Park, M. (2019). Machine learning applications in construction material design and prediction. Construction and Building Materials, 202, 110–121.
- [14] ISO 16310:2014. Gypsum-based building materials — Definition, requirements and test methods



**Информация об авторах/  
Information about the authors**

Тургунбаева  
Жумагул  
Рахимбердиевна

Ташкентский государственный  
транспортный университет  
e-mail:  
[jumagul.turgunbayeva@mail.ru](mailto:jumagul.turgunbayeva@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-6961-595X>

Махаматалиев  
Иркин  
Муминович

Ташкентский государственный  
транспортный университет

Кузнецова Инна  
Олеговна

Петербургский  
государственный университет  
путей сообщения





## Thermophysical properties of multicomponent building materials during heat and moisture treatment using solar energy

A.Kh. Alinazarov<sup>1</sup><sup>a</sup>, A.A. Tukhtabaev<sup>1</sup><sup>b</sup>, S.A. Adasheva<sup>1</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan

**Abstract:** The article considers the thermophysical properties of building materials and products based on them during solar thermal treatment. The formation of the value of the thermal conductivity coefficient is shown; the thermal conductivity of the hardening skeleton and the filling medium and the convective component, as well as heat transfer due to the movement of masses, will have a fundamental influence. It is established that regulation of the thermophysical properties of composite products by solar thermal chemical action before and during the period of structure formation is possible by regulating the pore structure, humidity, dispersion of the main component, the temperature exposure mode, from the type and amount of modified plasticizing additives.

**Keywords:** thermophysical properties, building materials, solar energy, pore structure, structure management, production waste, solar thermal treatment, thermal conductivity, specific heat capacity

## Теплофизические свойства многокомпонентных строительных материалов при тепловлажностной обработке с использованием солнечной энергии

Алиазааров А.Х.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Тухтабаев А.А.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Адашева С.А.<sup>1</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Наманганский государственный технический университет, Наманган, Узбекистан

**Аннотация:** В статье рассмотрено теплофизические свойства строительных материалов и изделий на их основе при гелиотепловой обработки. Показана формирование величины коэффициента теплопроводности основополагающее влияние будут иметь теплопроводность твердеющего скелета и заполняющей среды и конвективная составляющая, а также перенос тепла за счёт перемещения масс. Установлена, что регулирования теплофизических свойств композиционных изделий путём гелиотеплохимического воздействия до и в период структурообразования возможно регулированием поровой структуры, влажности, дисперсности основного слагаемого вещества, режима температурного воздействия, от вида и количества модифицированно-пластифицирующих добавок.

**Ключевые слова:** теплофизические свойства, строительные материалы, солнечная энергия, поровая структура, управление строением, отходы производства, гелиотепловая обработка, теплопроводность, удельная теплоёмкость


### 1. Введение

Глобальное сокращение энергоресурсов требует резкого повышения энергоэффективности в отрасли производства строительных материалов. Энергетический кризис XX века показал необходимость для строительной отрасли повышения цен на энергоносители, создания и внедрения ресурсо- и энергосберегающих технологий в производстве строительных материалов и изделий, в связи с этим в сфере строительных материалов одной из важных задач является эффективное использование энергосберегающих технологий, производство новых строительных материалов на основе промышленных отходов, совершенствование их технологии, улучшение их конструктивно-технических и эксплуатационных свойств.

В последние годы материалами и строителями всего мира проводится множество научно-исследовательских работ, направленных на использование возобновляемых источников энергии, в том числе солнечной энергии, в строительной отрасли. Использование вторичных ресурсов, разработка энергоэффективных технологий их получения, нейтрализация экологически вредных техногенных отходов являются одними из актуальных задач. Утилизация промышленных отходов позволяет решить две важные проблемы - предотвращение загрязнения окружающей среды, а также достижение высокой экономической эффективности при изготовлении различных строительных материалов и изделий.

**Литературный анализ.** Теплофизические свойства многокомпонентных материалов зависят от многих факторов и в первую очередь от объёмной массы, поровой структуры, влажности и режима гелиотеплохимической обработки.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5117-4252>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0006-2968-0179>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0000-4659-2353>





Поэтому, управляя строением и структурными характеристиками, можно создавать эффективные материалы с улучшенными теплофизическими характеристиками [1].

Ограждающие конструкции, в частности материалы из золоцементных смесей на основе золошлаковых отходов ТЭС представляют собой мелкопористый материал, в котором сцепление зерен между собой осуществляется только в местах точечных контактов. В мелкозернистых многокомпонентных изделиях, благодаря малому размеру межзерновых пор, конвективный теплообмен сводится к минимуму, поэтому в таком материале логично ожидать оптимальное сочетание прочностных и теплофизических свойств.

Так как повышение температуры структурообразующей среды при гелиотеплохимическом воздействии ускоряет процесс твердения золоцементного изделия, то коэффициенты тепло-массопереноса будут зависеть и от температурного режима [2].

Теплопроводность структурообразующего золоцементного материала зависит от физико-химической структуры, плотности твердой фазы, влагосодержания и внутреннего давления парогазовой среды и составляет  $-0,28 \dots 0,32$  Вт/м. °С.

При этом теплопроводность твердых фаз, в связи с фазовыми и структурными преобразованиями, происходящими в золоцементном изделии, при гидратации цемента, со временем увеличивается [3].

Перенос тепла внутри пор осуществляется конвекцией и теплопроводностью среды, заполняющие поры путём излучения. Влияние лучистого переноса тепла с развитием реакции гидратации и появлением контракционных пор, диаметр которых значительно меньше 2 мм, резко снижается, и им можно пренебречь. Теплопроводность заполняющей среды с течением времени из-за стока воды на гидратацию и преобразования в порах будет уменьшаться. Следовательно, на формирование величины коэффициента теплопроводности основополагающее влияние будут иметь теплопроводность твердеющего скелета и заполняющей среды и конвективная составляющая, а также перенос тепла за счёт перемещения масс.

Во время структурообразования при гелиотеплохимической обработке изменяется коэффициент теплопроводности, температуропроводности и теплоёмкости. В частности он будет зависеть от размера фракции (Суд) заполнителя, марки цемента (м), водоцементного отношения (В/Ц), модифицирующе-пластифицирующих добавок (МПД), влияющего на состав и количество заполняющей среды в порах и от температуры воды затворения и воздух нагретых в гелиотеплогенерирующих агрегатах [4, 5, 6].

Удельная теплоёмкость структурообразующего З.Ц.К (золоцементная композиция) находится в пределах 830-870 ВТ/(кг.°К), т.е. удельная теплоёмкость является величиной слабощувствительной к структурным изменениям материала, наибольшие её изменения определяются в основном стоком влаги на реакцию гидратации, а ввиду того, что на свободную воду приходится не более 7...8 % от объемной массы композиционного изделия, то и эти изменения можно считать незначительным. Результаты исследований за

динамикой коэффициента теплопроводности  $\lambda$  приведён на рис. 1.

## 2. Методология исследования

В качестве исходных данных для получения значений коэффициента теплопроводности  $\lambda$  выбраны основные факторы эксперимента и их граничные значения осуществлены на основе априорной экспериментальной информации.

Установлено, что тенденция изменения  $\lambda$  при рассматриваемых режимах имеет одинаковый характер: незначительный рост значений  $\lambda$  сменяется значительным его падением, а затем увеличением и стабилизацией. Диапазон изменения теплопроводности при различных режимах гелиотеплохимической обработки почти тот же, что указывает в основном на влияния состава и марки мелкозернистого композиционного изделия полиструктурного строения.

Температура твердения композиционного изделия оказывает влияние на периоды наступления минимума  $\lambda$  и выход коэффициента на постоянное значение: при  $t_{\max}$  минимум и стадия стабилизации  $\lambda$  наступает быстрее. При низких температурах -  $T_{\text{ест}}$  стадия стабилизации  $\lambda$  наступает позднее и кривая изменения теплопроводности имеет более пологий характер и медленнее выходит на стадию стабилизации. А при структурообразовании золоцементных композиционных изделий в естественных условиях понижение и рост значений  $\lambda$  растянуто во времени.

Если сравнить ход кривых интенсивности тепловыделения  $q$  и коэффициентов теплопроводности определяется интересная закономерность что периоды поступления минимума  $\lambda$  и максимума  $q$  совпадают, что является следствием структурообразования полиструктурного мелкозернистого композиционного материалов при гелиотеплохимической обработке; влияние же температуры сказывается в ускорении или замедлении этих процессов.

На рис. 1 показана зависимость между интенсивностью тепловыделения  $q$ , теплопроводностью  $\lambda$  и скоростью изменения тепловыделения  $\partial q / \partial \tau$  структурообразующего композиционного изделия. Анализ и сопоставление результатов дали мне предложить интересную взаимосвязь заключающейся в следующем: что поступление абсолютного минимума значений  $\partial q / \partial \tau$  совпадает с началом периода стабилизации значений коэффициента теплопроводности, а абсолютному максимуму тепловыделения  $q$  соответствует абсолютный минимум значения  $\lambda$ . Это означает о том, что если известен ход кривых  $q$ , то, вычислив производную  $\partial q / \partial \tau$  можно построить для данного режима гелиотеплохимической обработки прогнозную зависимость коэффициента теплопроводности в процессе структурообразования высоконаполненных золоцементных композиционных материалов полиструктурного строения.

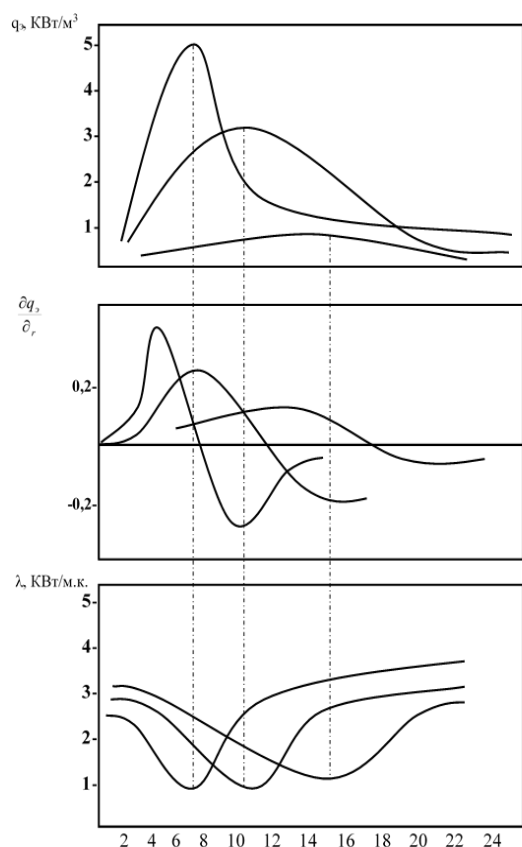


Рис. 1. Зависимость между интенсивностью тепловыделения, скоростью его изменения и теплопроводностью композиционного материала полиструктурного строения.

1- режим ГТХО без МПД; 2- режим ГТХО с МПД;  
3- режим структурообразования в естественных условиях.

### 3. Заключение

Таким образом, регулирования теплофизических свойств композиционных изделий путём гелиотеплохимического воздействия до и в период структурообразования возможно регулированием поровой структуры, влажности, дисперсности основного слагаемого вещества, режима температурного воздействия, от вида и количества модифицированно-пластифицирующих добавок.

### Использованная литература / References

- [1] Алиазаров А.Х. Энергоэффективная теплотехнология получения золоцементных композиционных материалов: монография. Москва: РУСАЙНС, 2023.-168 с.
- [2] Алиазаров А.Х. Энерго и ресурсосберегающая технология получения строительных материалов и изделий методом гелиотеплохимической обработки: монография. Москва:РУСАЙНС, 2021.-138с
- [3] Аруова Л.Б. Современные воззрения на протессы твердения бетона. В кн.: Алматы-Поиск, 2003.-№1.-С.535.

[4] Бйкова И.В. Гелиотермообработка железобетонных изделий с применением пленкообразующих составов: Дисс.канд. техн. наук. - Москва, 1988. - С.207.

[5] Соловьянчик А.Р., Комплексное использование солнечной энергии при изготовлении железобетонных конструкций транспортных сооружений // В кн.: Материалы научно-технической конференции по проблеме гелиотехнологии и долговечности бетона в условиях сухого жаркого климата. -Бухара, 1992.- С.39-45.

[6] Алиазаров А.Х., Гулямов А.Г. Свойства золоцементных композиций при механохимической активации //Проблемы механики, 2002. - Вып. 5. - С. 48 - 51.

[7] Алиазаров А.Х., Гулямов А.Г. Формирование свойств золоцементных композиций полиструктурного строения //Гелиотехника, 2003. - Вып. 1. - С. 86 – 88.

[8] Алиазаров А.Х., Алиазарова М., Рахмонов Ш. Особенности управление теплофизическими свойствами золоцементных композиционных строительных материалов при гелиотепловой обработке. ФарПИ научно-технический журнал, №2 Фергана-2012

[9] Дмитриева М.М. Применение камер с полимерным пленочным покрытием для дозревания железобетонных изделий в условиях Средней Азии //Материалы ИИ Всесоюзного координационного совещания по проблеме "Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата". -Ашхабад. -1976. - С.218-222.

[10] Миронов С.А., Малинский Е.Н., Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата. - М.: Стройиздат.- 1985. - С.316.

### Информация об авторах/ Information about the authors

**Алиазаров Алишер Хайдаралиевич** Наманганский государственный технический университет, к.т.н., профессор  
E-mail: [alinazarovalisher@gmail.com](mailto:alinazarovalisher@gmail.com)  
Tel.:+998934975050  
<https://orcid.org/0000-0001-5117-4252>

**Тухтабаев Ахмеджон Адашевич** Наманганский государственный технический университет, к.т.н., доцент  
E-mail: [tuxtabayevaxmadjon66@gmail.com](mailto:tuxtabayevaxmadjon66@gmail.com)  
Tel.:+998945022232  
<https://orcid.org/0009-0006-2968-0179>

**Адашева Саидахон Ахмаджон кизи** Наманганский государственный технический университет, Преподаватель  
E-mail: [saidaxonadasheva92@gmail.com](mailto:saidaxonadasheva92@gmail.com)  
Tel.:+998947133035  
<https://orcid.org/0009-0000-4659-2353>



## The effect of a complex additive on the homogeneity of cast concrete

R.A. Narov<sup>1</sup><sup>a</sup>, N.B. Rakhimova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This article discusses the effect of a complex additive based on ACF or SAFA plasticizers and SOAPSTON hardener made from oil and fat industry waste on strength, homogeneity, density and the propagation rate of ultrasound in cast concrete.

**Keywords:** complex additive, ACF, SAFA, SOAPSTON, plasticizer, homogeneity, strength, elastic, structure, cube, prism, density, velocity, ultrasound, propagation, property, workability, vibrations

## Влияние добавок на физико технические свойства бетона

Наров Р.А.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Рахимова Н.Б.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В данной статье просматривается вопрос, определение влияния комплексной добавки на основе пластификаторов АЦФ или САФА и отвердителя СОАПСТОН на прочность, однородность, плотность и на скорость распространения ультразвука.

**Ключевые слова:** комплексная добавка, АЦФ, САФА, СОАПСТОН, пластификатор, однородность, прочность, упругий, структура, куб, призма, плотность, скорость, ультразвук, распространение, свойство, удобоукладываемость

### 1. Введение

Современное строительство предъявляет всё более высокие требования к строительным материалам, в частности к бетону — основному конструкционному материалу в гражданском, промышленном и транспортном строительстве. Устойчивость к воздействию внешней среды, высокая прочность, долговечность, трещиностойкость, морозостойкость и водонепроницаемость — ключевые характеристики, определяющие эксплуатационные свойства бетона. Однако традиционные бетонные смеси не всегда способны удовлетворить всем этим требованиям, особенно в условиях сложных климатических и эксплуатационных факторов.

В этой связи всё большую актуальность приобретает модифицирование бетонных смесей с помощью различных минеральных и химических добавок, которые позволяют значительно улучшить физико-технические свойства бетона. Применение добавок способствует оптимизации технологического процесса, улучшает характеристики на ранних стадиях твердения и в долговременной перспективе, а также позволяет решать задачи энергоэффективности и ресурсосбережения.

Настоящее исследование посвящено изучению влияния различных видов добавок на физико-технические свойства бетона, таких как прочность на сжатие, морозостойкость, водонепроницаемость и подвижность смеси. Целью работы является выявление наиболее эффективных добавок и обоснование целесообразности их применения в условиях местного производства и строительства.

**Литературный анализ.** Исследования влияния добавок на свойства бетона начали активно развиваться с середины XX века и по сей день остаются предметом пристального внимания учёных и инженеров. Существует множество классификаций добавок, однако наиболее распространённым подходом является деление на **минеральные** и **химические**.


#### *Минеральные добавки*

Минеральные добавки, такие как микрокремнезём, метакраин, зола-уноса, доменные и ферросплавные шлаки, представляют собой пуццолановые или инертные материалы, способные вступать в реакцию с гидроксидом кальция, образуя дополнительный гидросиликат кальция (CSH). Это способствует повышению плотности структуры цементного камня, снижению проницаемости и увеличению прочности. В исследованиях Зайцева Г. С. отмечается, что микрокремнезём способен повышать прочность бетона до 20–30% при снижении водоцементного отношения. Зола-уноса улучшает водонепроницаемость и морозостойкость, особенно при оптимальной дозировке 15–25% от массы цемента.

#### *Химические добавки*

К числу химических добавок относятся пластификаторы, суперпластификаторы, ускорители и замедлители твердения, воздухововлекающие агенты, ингибиторы коррозии, водоотталкивающие и гидрофобизирующие вещества. Особое внимание уделяется **суперпластификаторам на основе поликарбоксилатных эфиров**, которые позволяют достигать высокой подвижности смеси при низком водоцементном отношении. В исследованиях Левина Н. Ю. отмечается, что такие добавки позволяют изготавливать самоуплотняющийся бетон, обеспечивая однородность и отсутствие сегрегации компонентов.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0675-8328>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2477-4516>



*Современные тенденции*

Современные исследования (Li et al., 2018; Singh & Kumar, 2020) направлены на использование **наноразмерных добавок**, таких как нанодоксид кремния, наноглина, наномодифицированный графен, что позволяет значительно улучшать микроструктуру цементного камня и тем самым повышать его прочностные характеристики и стойкость к агрессивным средам.

Тем не менее, эффективность добавок зависит от множества факторов: состава цемента, качества заполнителей, режима твердения и климатических условий. Также большое значение имеет правильный подбор дозировки добавок, поскольку как недостаток, так и избыток может негативно сказаться на свойствах бетона. Исследования показывают, что комбинированное применение минеральных и химических добавок может обеспечить наилучший эффект в плане прочности, трещиностойкости и долговечности бетона.

## 2. Методология исследования

Из заранее определенных оптимальных составов бетонов класса В22,5; В30 и В40 были заформованы образцы кубы размером 10х10х10 см и призмы размером 10х10х40 см. При приготовлении бетонной смеси в ее состав с водой затворение вводили АЦФ- 0,1% или САФА- 0,15% и отвердитель СОАПСТОН-1,5% от веса цемента [6].

Образцы до испытания твердели в течении 28 суток в нормальных условиях. Проведенными исследованиями установлено, что введением в состав бетонной смеси комплексную добавку на основе пластификаторов АЦФ или САФА можно сократить расход цемента на 17 - 21% при одновременном обеспечении заданной прочности, либо повысит прочность на 20 - 22% по сравнению с контрольными образцами.

Бетон с комплексными добавками по однородности свойств и структуре не уступает без добавочных бетонам тех же классов.

Также установлено, что бетон с комплексными добавками характеризуется однородными свойствами по высоте, она также подтверждается данными по распространению ультразвуковых колебаний литых бетонов. Увеличение однородности в литой бетоне по высоте с добавками объясняется его лучшей удобоукладываемостью по сравнению с без добавочным бетоном.

Однородность структуры бетона является одним из важнейших показателей его качества, предопределяющая однородность прочностных, упругих и других физико-механических свойств литого бетона и существенно влияет на долговечность конструкции.

В качестве пластификаторов в исследованиях использовали В - кетоспиртовых ПАВ метинолацетона (ацетоноформальдегидаминовый олимер) - АЦФ и с фуrolам (ацетоноформальдегидаминовыш олимер) - САФА и отвердитель СОАПСТОН - отход масложировой промышленности, получаемой при рафинации жиров и масел. Экспериментами заранее были определены оптимальные количества добавок, и они были равны - АЦФ - 0,1%, САФА - 0,15% и отвердитель СОАПСТОН - 1,5% от веса цемента и вводился в с водой затвердения при приготовления бетонной смеси [3].

Были проведены исследование по определению влияние комплексной добавки на основе пластификаторов АЦФ и САФА и отвердителя СОАПСТОН на прочность, плотность и на однородность оптимальных составов бетона класса В22,5; В30 и В40. Оптимальные составы бетона были подобраны с помощью расчёта экспериментального метода [1].

Для определения прочности и однородности литого бетона из оптимальных состав бетона были заформованы кубы размером 10х10х40 см, до проведения испытаний образцы хранили в течение 28 суток в нормальных условиях.

В таблице 1 приведены оптимальные составы литого бетона. В период приготовления бетонной смеси в её состав вводили пластификаторы АЦФ - 0,1% или САФА - 0,15% и отвердитель СОАПСТОН - 1,5% от веса цемента [5].

Таблица 1

Оптимальные составы литого бетона

Класс бетона	Серия образцов	Расход материалов в кг на 1 м³				В Ц	Количество добавок % от веса цемента	
		П	П	Щ	В		САФА	СОАПСТОН
							АФЦ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
В-22,5	В-2	420	640	975	252	0,60	0,15	-
	В-3	350	720	1100	192,5	0,55	-	1,5
	В-4	350	720	1100	192,5	0,55	0,1	1,5
В-30	Г-2	480	605	925	264	0,55	-	-
	Г - 3	375	720	1100	187,5	0,50	0,15	1,5
	Г- 4	375	720	1100	187,5	0,50	0,1	1,5
В-40	Д-2	520	595	910	260	0,50	-	-
	Д - 3	420	700	1074	189	0,45	0,15	1,5
	Д - 4	420	700	1074	189	0,45	0,1	1,5

В таблице 2 приведены результаты испытаний образцов по определению прочности плотности и однородности (скорость распространения ультразвука) как кубовых, так и призмных образцов.



Таблица 2

Однородность свойств литого бетона на высоте							
Серия образца	Исследуемая часть призмы	Кубы			Призмы		
		Плотность бетона $\rho_0$ г/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии $R_{сж}$ , МПа	Скорость распространения у/з, $V_y$ м/сек	Плотность бетона $\rho_0$ г/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии $R_{сж}$ , МПа	Скорость распространения у/з, $V_y$ м/сек
1	2	3	4	5	6	7	8
В - 2	1 - верх	2,28	31,2	3200	2,27	28,5	3100
	2 - середина				2,28	31,5	3200
	3 низ				2,30	33,6	3300
В-3	1 - верх	2,30	38,0	3300	2,28	35,8	3290
	2 - середина				2,30	36,0	3400
	3 - низ				2,31	38,2	3480
В - 4	1 - верх	2,29	39,0	3300	2,30	36,0	3400
	2 - середина				2,305	38,0	3480
	3 - низ				2,32	40,0	3570
Г-2	1 - верх	2,30	34,8	3570	2,30	30,5	3480
	2 - середина				2,31	34,0	3700
	3 - низ				2,32	36,0	3780
Г-3	1 - верх	2,33	52,7	3650	2,30	49,0	3650
	2 - середина				2,30	50,3	3710
	3 - низ				2,345	52,3	3800
Г-4	1 - верх	2,32	51,2	3600	2,30	48,5	3750
	2 - середина				2,30	50,1	3790
	3 - низ				2,35	53,1	3900
Д-2	1 - верх	2,33	39,6	3740	2,31	34,0	3300
	2 - середина				2,34	36,0	3400
	3 - низ				2,36	39,9	3570
Д-3	1 - верх	2,35	57,6	3880	2,32	56,0	3890
	2 - середина				2,35	57,8	3990
	3 - низ				2,37	58,5	4000
Д-4	1 - верх	2,34	57,0	3850	2,32	55,9	3890
	2 - середина				2,34	57,5	3980
	3 - низ				2,36	58,0	4000

Прозвучивание образцов осуществляли по стандартной методике с помощью прибора УКБ - 1М как вдоль, так и поперек направления укладки бетонной смеси.

Оценку однородности свойств и структуры бетона проводили по результатам испытаний шести образцов - кубов с ребром 10 см исследуемых составов, твердевших 28 суток в нормальных условиях.

В качестве количественной характеристики однородности использовали коэффициенты вариации по прочности ( $V_r$ ) и скорости распространения ультразвуковых колебаний вдоль и поперек направления укладки ( $V_y$ ), определяли по формуле:

$$V = S/Y \cdot 100\% \quad (1)$$

где:  $S$  - среднее ее квадратичное отклонение исследуемой характеристики, вычисляемое по формуле:

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$\bar{y}$  - среднее арифметическое значение изучаемой характеристики;

$y_i$  - частное значение характеристики, полученное при проведении единичного эксперимента ( $i = 1, 2, 3$  п).

Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3

Однородность свойств бетона с комплексными добавками													
Маркировка составов		В-1	В-2	В-3	В-4	Г-1	Г-2	Г-3	Г-4	Д-1	Д-2	Д-3	Д-4
Коэффициенты	V <sub>р</sub>	6	8	4	7	6	7	5	6	5	7	6	5
Вариации	V <sub>у</sub>	5	6	5	4	5	7	2	7	5	8	6	3





Среднее значение коэффициента вариации по прочности  $V_r$  для всех исследуемых образцов с комплексными добавками составило 5,3%, по скорости распространения ультразвуковых колебаний - 4,5%, что не превышает средних значений коэффициентов вариации тех же характеристик для образцов бетона тех же марок без добавки.

В предположении нормального закона распределения прочности было определено необходимое количество образцов ( $n$ ) бетона с комплексными добавками на основе пластификаторов и отвердителя для получения достоверных данных по прочности:

$$n = \frac{t^2 \cdot v^2}{\beta^2} \quad (3)$$

где:  $t$  - число, соответствующее принятому уровню достоверности при числе степеней свободы  $f = 3$  (берётся по таблицам статистического распределения);

$\beta$  - погрешность испытания (при исследовании влияния тех или иных параметров на прочность принимаются равной 5 - 7%);

$v$  - фактически полученный после проведения испытаний коэффициент вариации.

Подсчитанное по формуле (3) необходимое количество образцов бетона, как без добавки, так и с добавкой принятых дозировках для получения достоверных данных по прочности (исходя из фактического среднего коэффициента вариации) составляет не менее трех образцов.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что бетоны с комплексными добавками на основе пластификаторов и отвердителя по однородности свойств и структуры не уступают бездобавочным бетонам тех же классов литых бетонов.

Влияние комплексных добавок на основе пластификаторов на неравномерность свойств бетона на высоте, возникающую вследствие явления расслаиваемой бетонной смеси изучали на призмах размером 10x10x40 см, которые формовали в вертикальном положении, уплотнение бетонной смеси осуществляли штыкованием. Из каждого состава бетона формовали по три призмы.

Образцы до испытания твердели 28 суток в нормальных условиях одновременно формовали образцы - кубы с размером ребра 10 см для определения прочности. Призмы раскалывали на три равные части по высоте, которые использовали для определения плотности бетона ( $\rho_0$ ), предела прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ), скорости распространения ультразвуковых колебаний ( $V_y$ ) результаты испытаний представлены в таблице 2.

Установлено, что для бетона без добавок различие прочности между верхней и нижней частью призм (по отношению к среднему значению) в среднем для составов В - 2 - 17,5%, Г - 2 - 18%, Д - 2 - 17,3%, а для бетона с комплексными добавками на основе пластификаторов эти значения составили: В - 3 - 7% и В - 4 - 10%, Г - 3 - 6,7%, и Г - 4 - 9,5%, Д - 3 - 4,5% и Д - 4 - 4,0%, то есть бетоны с оптимальным количеством комплексных добавок характеризуются более однородными показателями свойств по высоте, что подтверждается также данными по скорости распространения ультразвуковых колебаний в бетонах.

Повышение однородности свойств по высоте для бетона с комплексными добавками на основе пластификаторов и отвердителя объясняется его лучшей

удобоукладываемостью по сравнению с без добавочным бетоном и увеличением долей песка в смеси с целью предотвращения расслоения бетонной смеси, и как следствие, получение более плотной структуры, что способствует меньшему разбросу прочности.

Проведенные исследования показали, что комплексные добавки на основе пластификаторов и отвердителя могут быть использованы эффективно в технологии изготовления конструкции имеющих значительную высоту.

### 3. Заключение

Проведенными исследованиями установлено, что введение в состав бетонной смеси комплексной добавки на основе пластификаторов АЦФ или САФА и отвердителя СОАПСТОН можно сократить расход цемента на 17 - 21%, при одновременном обеспечении заданной прочности либо повысить ее прочность на 20 - 22% по сравнению с контрольными образцами. Бетоны с комплексными добавками на основе пластификаторов и отвердителя по однородности свойств и структуре не уступают без добавочным бетона, тех же классов. Также установлено, что бетоны с комплексными добавками характеризуются более однородными показателями свойств по высоте, она также подтверждается данными по распространению ультразвуковых колебаний в литых бетонах. Увеличение однородности в литой бетоне с добавками объясняется его лучшей удобоукладываемостью по сравнению с без добавочным бетоном.

### Использованная литература / References

- [1] Тахиров М.К., Саломатов В.И. Рекомендации по применению ацетоноформалдегидных смол в качестве добавок. Ташкент 1993.
- [2] Тахиров М.К., Наров Р.А. «О свойствах бетонной смеси добавками новых ПАВ в условиях сухого жаркого климата», Архитектура и строительство.
- [3] Наров Р.А. «Исследование по применению добавки САФА в качестве интенсификатора помала» Материалы Республиканской научно-технической конференции. Ташкент 2017.
- [4] Усов Б.А. Методы подбора составов модифицированных бетонов. Учебное пособие. Москва-2018г.
- [5] Реологические свойства бетонной смеси с добавкой САФА. Республиканская Научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых. Ташкент 2018г.
- [6] Наров Р.А. Рациональные смеси заполнителей для бетона. Журнал «Архитектурно Строительство, Дизайн.» ТАСИ 2017.
- [7] М.К.Тахиров, В.И.Соломатов Рекомендации по применению ацетоноформальдегидных смол в качестве добавок. Ташкент 1993.
- [8] Дворкин Л.И. Испытание бетонов и растворов. Москва 2014.
- [9] Рекомендации по применению химических добавок в бетон М.: Стройиздат 1999.



[10] Батраков «Модифицированные бетоны» М.: Стройиздат 2000.

[11] Наров Р.А. Влияние наполнителей на усадочную деформацию бетона. Республиканская научно техническая конференция с участием зарубежных ученых. Ташкент 2017.

[12] Наров Р.А. Исследование бетона с добавками модифицированных продуктов метилолацетона. Монография. Ташкент 2019г.

[13] Баженов Ю.М. Технология бетона. Издательство Ассоциации Высших учебных заведений. М.: 2002г.

[14] Совалов И.Г. Методы активации цементов и влияние активации на свойства бетона. М.: Госстройиздат. 2003г.

[15] Адылходжаев А.И., Соломатов В.И. Основы интенсивной раздельной технологии бетона. Ташкент: изд-во ФАН, АН.РУз.1993.

[16] Соломатов В.И., Адылходжаев А.И., Солихов Б.Г.. Цементные бетоны с наполнителями из отходов

производства строительных материалов и изделий. Пенза. 1999г.

## Информация об авторах/ Information about the authors

<b>Наров Рустам Алиханович</b>	Ташкентский государственный транспортный университет кандидат технических наук, профессор <a href="https://orcid.org/0000-0002-0675-8328">https://orcid.org/0000-0002-0675-8328</a>
----------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Рахимова Назима Бахтиеровна</b>	Ташкентский государственный транспортный университет доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент, , E-mail: <a href="mailto:nozima.rakhimova@gmail.com">nozima.rakhimova@gmail.com</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-2477-4516">https://orcid.org/0000-0002-2477-4516</a>
--------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



## Evaluation of spatial-structural properties and thermal technical indicators of autoclave-free aerated concrete produced from industrial waste

B.G. Kodirov<sup>1</sup>, S.S. Shaumarov<sup>1</sup>, S.I. Kandakhorov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article briefly describes the historical development of aerated concrete production technology, modern methods and the contribution of Uzbek scientists to this field, and also theoretically analyzes the relationship between the thermal insulation properties of autoclaved aerated concrete and its composition, porous structure and density. The study compared aerated concrete samples with different compositions (standard, slag and sand waste variants), analyzed their thermal conductivity coefficient ( $\lambda$ ), density ( $\rho$ ) and strength. According to the results, the thermal insulation capacity of aerated concrete improved by 12–15% by adding industrial waste, and the combination of slag and sand waste gave especially optimal indicators. In addition, the fact that the  $\lambda$  value of aerated concrete is linearly dependent on its density was expressed through the mathematical model ( $\lambda = f(\rho)$ ).

**Keywords:** aerated concrete, industrial waste, autoclave-free technology, porous structure, thermal conductivity coefficient, X-ray phase analysis, electron microscopy, physical and mechanical properties, phase composition

## Sanoat chiqindilari asosida ishlab chiqarilgan avtoklavsiz gazobetonning fazaviy-strukturaviy xususiyatlari va issiqlik texnik ko'rsatkichlarini baholash

Kodirov B.G.<sup>1</sup>, Shaumarov S.S.<sup>1</sup>, Kandahorov S.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada sanoat chiqindilaridan, jumladan kvarts qumi va po'lat eritish shlakidan foydalanilgan avtoklavsiz gazobeton namunalari fazaviy-strukturaviy xususiyatlari va issiqlik texnik ko'rsatkichlari tadqiq qilingan. Gazobeton tarkibidagi g'ovaklarning o'lchami, shakli va taqsimoti elektron mikroskopiya va rentgenofazaviy analiz usullari yordamida baholangan. Olib borilgan tajriba natijalariga ko'ra, sanoat chiqindilari bilan boyitilgan gazobeton namunalari issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyenti 0,138–0,147 W/(m·°C) oraliqda aniqlangan. Tadqiqot natijalari g'ovaklarning optimal o'lchami va taqsimoti materialning issiqlik izolyatsion va mexanik xossalarini sezilarli darajada yaxshilashini ko'rsatdi. Gazobetonning mikrostrukturasi va mineral faza tarkibining tahlili uning energiya samaradorligi va mustahkamlik ko'rsatkichlarini oshirish imkoniyatlarini belgilab berdi.

**Kalit so'zlar:** gazobeton, sanoat chiqindilari, avtoklavsiz texnologiya, g'ovak struktura, issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyenti, rentgenofazaviy tahlil, elektron mikroskopiya, fizik-mexanik xossalar, fazaviy tarkib.

### 1. Kirish

Qurilish materiallarining energiya tejamliligi va ekologik tozaligiga bo'lgan talablar ortib borayotgan bir paytda, energiya samarador texnologiyalar asosida gazobeton bloklari ishlab chiqarish alohida ahamiyat kasb etmoqda. Gazobeton — bu kam zichlikka, yuqori issiqlik izolyatsiyasi xususiyatiga va yetarli darajadagi mustahkamlikka ega hujayraviy beton turidir. Bunday xossalari tufayli gazobeton kam qavatli va energiya samarali qurilishda ajralmas material hisoblanadi.

Zamonaviy gazobeton ishlab chiqarish texnologiyalari faqatgina tayyor mahsulotlarning fizik-mexanik xususiyatlarini yaxshilashni emas, balki ishlab chiqarishning barcha bosqichlarida — xom ashyo aralashmasini tayyorlashdan boshlab avtoklavli ishlov berishgacha — energiya sarfini kamaytirishni maqsad qilgan. Komponentlarni avtomatlashtirilgan tarzda dozalashtirish tizimlarini joriy etish, avtoklav rejimlarini optimallashtirish, texnologik issiqlik va suvni qayta foydalanish, muqobil bog'lovchi materiallardan foydalanish kabi choralar energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirish va mahsulot

tannarxini sifatni yo'qotmagan holda pasaytirishga imkon beradi.

Bundan tashqari, barqaror rivojlanish va yopiq ishlab chiqarish sikli konsepsiyasiga mos ravishda ikkilamchi resurslardan — masalan, uchuvchi kul, mikrosilika va qurilish chiqindilaridan — foydalanishga ham alohida e'tibor qaratilmoqda. Gazobeton mahsulotlarini ishlab chiqarish texnologiyasi beton aralashmasining tarkibiga bevosita bog'liq bo'lib, beton massasida hosil bo'ladigan g'ovakli struktura, uning shakllanish usullari, gazobetonning mustahkamligi va boshqa ko'plab o'ziga xos xususiyatlar bilan belgilanadi.

Beton aralashmasining asosiy komponentlaridan biri gaz hosil qiluvchi modda (odatda alyuminiy kukuni) va gidratlangan kaltsiy oksidi bilan o'zaro ta'sirga kirishganda vodorod ajraladi. Suvda yomon eriydigan ushbu gaz beton aralashmasida ko'plab gazsimon g'ovaklar hosil qiladi, natijada gazobetonning o'ziga xos hujayraviy tuzilmasi shakllanadi. Zamonaviy qurilish sanoatida energiya samaradorligi va ekologik tozalikka bo'lgan talabning ortishi natijasida yengil vaznga va past issiqlik



o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega qurilish materiallariga ehtiyoj oshmoqda. Gazobeton bunday talablarni qondira oladigan muhim qurilish materiali sifatida keng qo'llanilmoqda. Uning asosiy afzalliklari g'ovakli tuzilma natijasida yuzaga keluvchi past issiqlik o'tkazuvchanlik va yengil vazn hisoblanadi.

Ayni vaqtda, sanoat chiqindilaridan, xususan, kvarts qumi va po'lat eritish shlakidan foydalanib, gazobeton ishlab chiqarishni takomillashtirish imkoniyatlari keng tahlil qilinmoqda. Ushbu tadqiqotda gazobeton tarkibida sanoat chiqindilarini qo'llashning issiqlik texnik va fazaviy xususiyatlarga ta'siri o'rganildi. Maqola sanoat chiqindilari asosida tayyorlangan gazobetonning rentgenofazaviy tahlili, elektron mikroskopik tasviri va issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyentini o'lchash natijalariga asoslangan holda materialning optimal tarkibiy va strukturaviy parametrlarini aniqlashga qaratilgan.

## 2. Tadqiqot metodikasi

Tadqiqot ishining asosiy maqsadi — sanoat chiqindilari asosida ishlab chiqarilgan avtoklavsiz gazobetonning fazaviy va struktura xususiyatlarini, shuningdek, issiqlik texnik ko'rsatkichlarini tajribaviy va analitik usullarda o'rganishdan iborat.

Tadqiqot quyidagi bosqichlarda olib borildi:

Namuna tayyorlash: Gazobeton namunalarini tayyorlashda sanoat chiqindilari — kvarts qumi va po'lat eritish shlaki — asosiy xom ashyo sifatida ishlatildi. Tayyorlangan qorishma 100×100×100 mm o'lchamdagi kub shaklida quyildi va tabiiy sharoitda qattiqlashtirildi. (1-rasm).



**1-rasm. Tayyorlangan namunaning umumiy ko'rinishi**

Rentgenofazaviy tahlil: Gazobeton namunalarining fazaviy tarkibi rentgen difraksiyasi (XRD) usuli bilan o'rganildi. Rentgenogrammalar yordamida kremniy oksidi, kalsiy oksidi, temir oksidi, kalsiy silikatlar, alyuminiy va magniy oksidlarining mavjudligi aniqlanib, ularning kristall strukturalari tasdiqlandi.

Elektron mikroskopiya: Namunalarning mikrostrukturasi aniqlash uchun elektron mikroskopik tasvirlar olindi. G'ovaklarning o'lchami, shakli va taqsimoti tahlil qilindi. G'ovaklarning o'rtacha o'lchami 400–600 mkm oralig'ida ekanligi aniqlangan.

Fizik-mexanik xossalarni baholash: Namunalarning zichligi GOST talablari asosida aniqlandi. Issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyenti nazariy hisob-kitoblar asosida va eksperimental yo'l bilan o'lchandi.

Natijalarni tahlil qilish: Olingan rentgenogrammalar, mikroskopik tasvirlar va issiqlik o'tkazuvchanlik

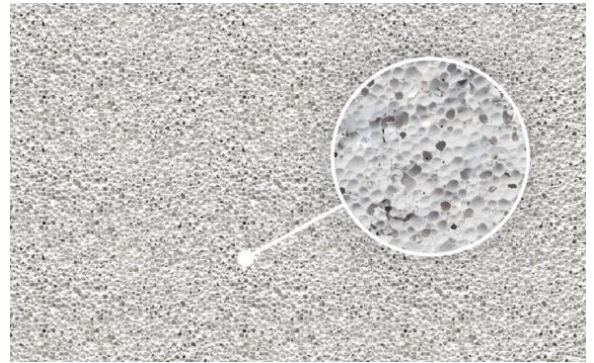
ko'rsatkichlari asosida gazobetonning fazaviy va struktura xususiyatlari baholandi va ularning issiqlik texnik ko'rsatkichlarga ta'siri tahlil qilindi.

Metodologiya asosida olib borilgan tajribalar sanoat chiqindilaridan foydalanish orqali gazobetonning energiya samaradorligi va ekologik ustunliklarini tasdiqladi hamda ishlab chiqarish texnologiyasini optimallashtirish uchun ilmiy asos yaratdi.

## 3. Natija va muhokamalar

Yengil vazn va past issiqlik o'tkazuvchanlik — gazobetonning asosiy afzalliklaridan hisoblanadi. Bunday xususiyatlarga bu qurilish materiali uning g'ovakli tuzilishi tufayli ega bo'ladi. Ushbu maqolada gazobeton va boshqa hujayravii beton turlarida g'ovaklarning qanday hosil bo'lishi va ular material xossalari qanday ta'sir ko'rsatishi batafsil yoritib beriladi.

Issiqlik izolyatsiyalovchi materiallarning o'ziga xos xususiyati ularning issiqlik o'tkazuvchanligini sezilarli darajada kamaytiradigan yuqori miqdordagi g'ovakli strukturasini hisoblanadi.



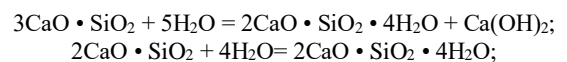
**2-rasm. Gazobetonlardagi g'ovaklarning ko'rinishi**

Bunda issiqlik o'tkazuvchanligiga materialning g'ovaklari miqdori, g'ovak o'lchamlari va shakli katta ta'sir ko'rsatadi. Yopiq sharsimon shaklga ega g'ovaklari ko'p bo'lgan materiallar eng yaxshi issiqlik izolyatsiyasi qobiliyatiga ega hisoblanadi [1].

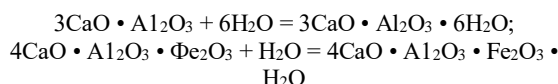
Qorishma tarkibidagi xom ashyo sifatini baholashdan maqsad sanoat chiqindisi asosidagi gazobetonning kimyoviy va mineralogik tarkibiga e'tibor qaratish va strukturani shakllantiruvchi omillarni o'rganish hamda zararli oksidlari, mineralarning ko'p miqdorda turli foizlarda mavjudligi, fizik-mexanik xususiyatlarining ta'sirini aniqlashdan iborat.

Olib borilgan eksperimental tadqiqotlar natijasiga ko'ra sanoat chiqindilari tarkibida CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, va FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oksidlari mavjudligi aniqlandi. Ushbu xom ashyo tarkibidagi oksidlar qotish jarayoniga va normal sharoitda biriktiruvchi xususiyatlarining namoyon bo'lishiga o'z ta'sirini o'tkazadi. Oksidlarning faollik ko'effitsienti materialning sifatini bog'lovchi moddalar ishlab chiqarish uchun xom ashyo sifatida foydalanishga yaroqliligi haqida aniq baho berishga imkon beradi.

Portland sementning qotish jarayoni bu alyuminatlar va kalsiy alyuminiyatlar hamda ferritlarni gidratsiyalanishini o'z ichiga olgan murakkab fizik-kimyoviy jarayonidir. Sement suv bilan reaksiyaga kirishganda, unda eriydigan asosiy minerallar quyidagi tenglamalar bo'yicha gidratlanadi:







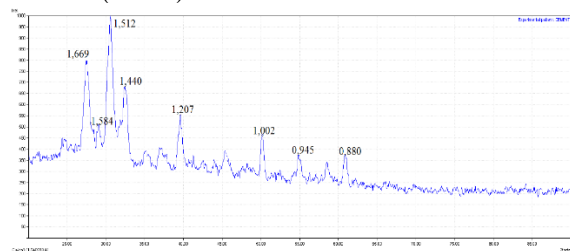
Bunda xom ashyo turiga, atrof-muhit ta'siriga, haroratga, bog'lovchi moddalarning qotish vaqti va qotish sharoitlariga qarab, g'ovakbetonning tarkibi, tuzilishi va bog'lash xususiyatlaridan farq qiluvchi turli xil neoplazmalar paydo bo'lishi mumkin.

Avtoklavsiz gazobeton tarkibida mavjud bo'lgan sanoat chiqindilari qo'llanilgan kvarts qumining mayda zarralari sementning strukturasi shakllantirish jarayonida faol ishtirok etib, hosil bo'lgan bloklarning g'ovak devorlarining zichligini oshirish hisobiga mustahkamligini oshirishga yordam beradi [2-3].

Portlandsement zarralari suv bilan reaksiyaga kirilganda, karbonat kaltsiy bilan bog'lovchi moddalarning mayda donalari bilan birgalikda yaxlit bo'lgan zarralar hosil bo'ladi. Bu ta'sir natijasida kontakt zonalarida mustahkam bo'g'inlar paydo bo'lishiga olib keladi [4].

Avtoklavsiz gazobeton namunalarning g'ovakliligi va uning tarkibini aniqlash hamda g'ovaklarining strukturasi to'liq tadqiq etish uchun rentgenogramma tahlili usulidan foydalanildi.

Sementning fazaviy tarkibida paydo bo'lgan o'zgarishlarni aniqlash uchun rentgenogrammalar tahlili o'tkazildi (3-rasm).



**3-rasm. Sanoat chiqindi kvarts qumi yordamida hosil qilingan gazobetonning rentgenogrammasi**

Olingan rentgen tahlillari shuni ko'rsatdiki, gazobeton tarkibida tegishli kimyoviy moddalar quyidagi fazalarda mavjudligi aniqlandi: kremniy oksidi (d, nm = 1,669; 1,512 Å) SiO<sub>2</sub>; temir dioksidi (d, nm = 1,440 Å) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; oltingugurt (VI) oksidi (d, nm = 1,584; 0,945 Å) CO<sub>3</sub>; kalsiy oksidi (d, nm = 1,207; 1002 Å) CaO; natriy oksidi hamda alyuminiy oksidi (d, nm = 0,880 Å) Na<sub>2</sub>OAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Ushbu fazalar bog'lovchining reaksiyaga kirishuviga, fizik-mexanik xossalarga ijobiy ta'sir etib, tashqi ta'sirlarga chidamliligini oshirishga xizmat qiladi.

Sementning kimyoviy tarkibiga o'xshash bo'lgan po'lat eritish shlakining kimyoviy tarkibi rentgenogrammalarining tahlili asosida aniqlandi (4-rasm).



**4-rasm. Po'lat eritish shlak yordamida tayyorlangan gazobetonning kimyoviy o'zgarish rentgen-strukturaviy tahlili**

Po'lat eritish shlak qo'llanilgan gazobetonning tarkibi kalsiy silikat gidratasiya mahsulotlarini o'z ichiga

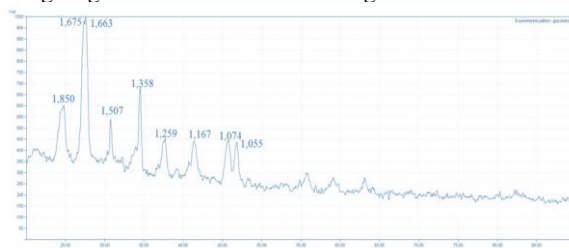
oladi:  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (d, nm = 2,088 Å), gidrolit  $2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (d, nm = 1,432 Å). Kristallardan iborat bo'lgan kimyoviy andraditlar  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_2$  (d, nm = 1,644 Å) va  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  (d, nm = 1,156 Å) oksid fazalari aniqlandi.

Shuningdek, quyidagi kimyoviy oksid fazalari ham mavjud:

Kalsiy CaCO<sub>3</sub> (d, nm = 1,35 Å);  
Glaukonit (K, H<sub>2</sub>O) (Fe<sub>3</sub>, Al, Fe<sub>2</sub>, Mg)<sub>2</sub> [Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>](OH)<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O (d, nm = 1,251 Å);  
Brusterit Ca(Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>16</sub>) 5H<sub>2</sub>O (d, nm = 1,069 Å);  
Analsim Na(AlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)H<sub>2</sub>O (d, nm = 1,051 Å);  
Marganesli kalsiy (Ca, Mn) SO<sub>3</sub> (d, nm = 0,929 Å).

Aniqlangan ushbu fazalar po'lat eritish shlak qo'llanilgan gazobeton bloklarining fizik-mexanik xossalari yaxshilanishiga yordam beradi.

Sanoat chiqindi kvarts qumi va po'lat eritish shlak yordamida hosil qilingan gazobeton kompozitsiyalarining rentgenogrammalari 5-rasmda keltirilgan.



**5-rasm. Sanoat chiqindi kvarts qumi va po'lat eritish shlak yordamida hosil qilingan gazobetonning rentgenogrammasi**

5-rasmdagi rentgenogramma natijalari shuni ko'rsatdiki sanoat chiqindi kvarts qumi asosidagi gazobeton namunalarda mikrostrukturaviy g'ovaklarga ega bo'lgan kalsiy silikatlarining gidratasiyasi aniqlandi:

$5\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (d, nm = 1,675; 1,358 Å);  
 $2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (d, nm = 1,663 Å);  
 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (d, nm = 1,507 Å).

Kalsiy alyuminatlar va alyuminoferitlari gidratasiyasidan hosil bo'lgan gazobeton quyidagi fazalarni o'z ichiga oladi:

ettringit  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaCO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (d, nm = 1,850 Å);

kalsiy gidroalyuminiyat  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (d, nm = 1,167 Å).

Granit kristal-kimyoviy guruhining fazasi  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  (d, nm = 1,259 Å), tegishli g'ovaklardan tashkil topgan mayda fazalarini quyidagilardan iborat:

monomorillonit  $\text{Al}_2(\text{OH})_2 \cdot (\text{Si}_4\text{O}_{10}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (d, nm = 1,074 Å);

kaolinit  $\text{Al}_2(\text{OH})_4 \cdot (\text{Si}_2\text{O}_5)$  (d, nm = 1,055 Å).

Ushbu kimyoviy tarkiblar orqali gazobetonning kimyoviy xossalari o'zining fizik-mexanik xususiyatlarini yaxshilanishiga xizmat qiladi hamda uning umrboqiyiligi, olovbardoshligi, muzlashga chidamligi kabi xususiyatlarini yaxshilanishiga olib keladi.

Sanoat chiqindilari qo'llanilgan barcha namunalar strukturasi tahlili shuni ko'rsatdiki, chiqindi kvarts qumi qo'shilgan gazobeton bir tekis taqsimlangan g'ovakli tuzilishga ega bo'lib, bu esa o'z navbatida issiqlik o'tkazuvchanligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun tadqiqot ishining keyingi bosqichida ushbu gazobeton tarkibining issiqlik o'tkazuvchanligini tadqiq etishdan iborat.

Issiqlik o'tkazuvchanligini aniqlash uchun avtoklavsiz





gazobetonon 100x100x100 mm o'lchamdagi namunalar tayyorlandi. So'ng issiqlik o'tkazuvchanligi "Qurilish issiqlik texnikasi" me'yoriy qoidalari asosida nazariy hisob-kitoblari bo'yicha aniqlangan.

Sanoat chiqindisi asosidagi gazobetonning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti

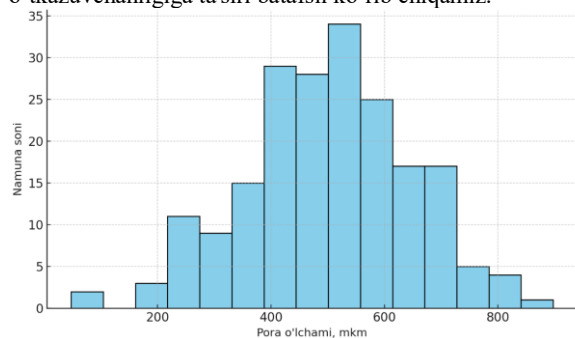
Gazobeton tarkibi	Zichligi, kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ , Vt/m·°C 1 namuna	$\lambda$ , Vt/m·°C 2 namuna	$\lambda$ , Vt/m·°C 3 namuna
Ishlab chiqarish tashkiloti	667	0,1415	0,1395	0,144
tarkibi bo'yicha tayyorlangan gazobeton	656	0,143	0,143	0,1415
	662	0,145	0,144	0,1435
Sanoat chiqindi kvars qumi asosidagi gazobeton	652	0,139	0,138	0,142
	658	0,141	0,139	0,141
	660	0,1425	0,142	0,145
Po'lat eritish shlaki asosidagi gazobeton	650	0,14	0,143	0,142
	648	0,142	0,145	0,144
	646	0,1435	0,146	0,145
	662	0,141	0,145	0,143
Sanoat chiqindi kvars qumi va shlaki asosidagi gazobeton	664	0,143	0,141	0,142
	663	0,1445	0,146	0,147

Birinci (chiqindi qumi), ikkinchi (po'lat eritish shlaki) va uchinchi (chiqindi kvars qumi va shlaki) namunalar (D600 markali) 650-664 kg/m<sup>3</sup> zichlik ko'rsatkichlariga ega bo'lgan gazobeton olindi. Ushbu namunalarning issiqlik o'tkazuvchanligi 0,142-0,169 Vt/m·°C

ni tashkil etdi. Bu esa GOST 10180-2012 talablariga to'la javob beradi.

Olib borilgan tadqiqotlar Davidyuk A.N. [5] nazariyasiga ham to'liq mos kelib, unga ko'ra materialning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti uning o'rtacha zichligiga va strukturasi bog'liq bo'lib, materialning xususiyatiga qarab 60-70 foizgacha o'zgarishi mumkin. Shuningdek, g'ovakbetonning mineralogik tarkibini tanlashda, gazobetonning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, o'rtacha zichligi, material strukturasi eng maqbul echimini topish muhim ahamiyat kasb etadi.

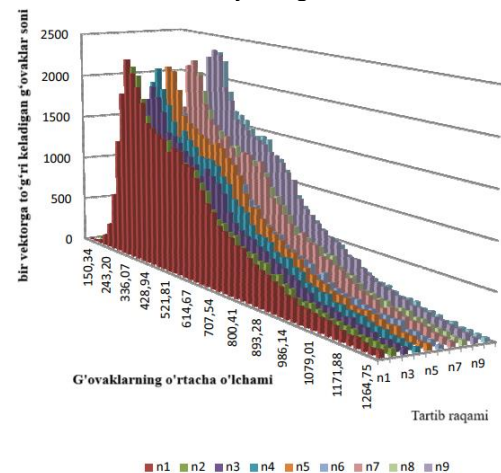
Gazobeton g'ovaklar hajmining ortishi hamda ularning bir-biri bilan o'zaro ochiq kanallar hosil qilishi issiqlikdan himoya xossalarini yomonlashishiga olib keladi. Shuning uchun g'ovakbetonlarni ishlab chiqarishda imkon qadar bir xil shakldagi g'ovak tuzilishga ega bo'lgan issiqlik izolyatsion materiallarni yaratishga harakat qilinadi. Bu struktura nafaqat issiqlik xususiyatlarini yaxshilaydi, balki mustahkamlik xususiyatlarini ham oshiradi [6]. Shuni inobatga olgan holda keyingi bo'limdada gazobeton strukturasi uning mustahkamligi va issiqlik o'tkazuvchanligiga ta'siri batafsil ko'rib chiqamiz.



6-rasm. Pora o'lchamlari bo'yicha taqsimot gistogrammasi

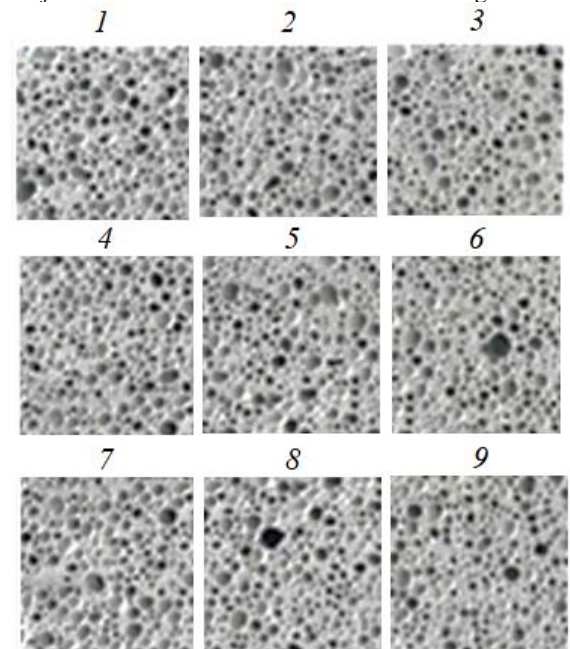
6-rasmda gazobeton namunasidagi pora o'lchamlarining taqsimotiga oid gistogramma tasvirlangan. Gistogrammada pora o'lchamlari mikrometr (mkm) birligida gorizontal o'qda, ularning takrorlanish chastotasi esa vertikal o'qda ko'rsatilgan. Taqsimotning shakli g'ovak strukturaning nisbatan bir xil va tarqoq xususiyatga ega ekanligini ko'rsatadi.

Pora o'lchamlari asosan 400-600 mkm diapazonida jamlangan bo'lib, bu gazobetonning past zichlik va yuqori issiqlik izolyatsiya xususiyatlarini ta'minlaydi. Eng ko'p uchraydigan pora diametri 500 mkm atrofida qayd etilgan. G'ovaklarning o'lcham oralig'i va ularning taqsimoti materialning issiqlik o'tkazuvchanligi, mustahkamligi hamda suv shimish xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.



7-rasm. G'ovaklarning o'lcham bo'yicha taqsimlanish gistogrammasi

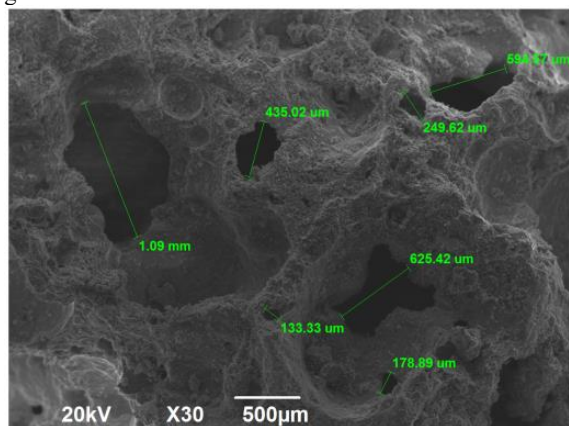
Ushbu taqsimot tahlili gazobetonning optimal fazaviy va struktura xususiyatlarini shakllantirish imkonini beradi, bu esa uning energiya samaradorligini va uzoq muddatli ishlash barqarorligini ta'minlashga xizmat qiladi. Tahlil natijalari Akimova A.V. [7] tomonidan ishlab chiqilgan metodikaga asoslanib, avtoklavlangan hujayraviy betonlarda g'ovak o'lchamlarining taqsimotini va ularning fazaviy rivojlanishini baholash uslubini doirasida olib borilgan.



8-rasm. Gazobeton namunalari kesim yuzasining tabiiy ko'rinishi

G'ovaklarning tarqalish gistogrammalari tahlilidan ko'rinib turibdiki, aralashmaning tekis harakatchanligi saqlangan va bir xil gaz hosil qiluvchi qo'llanilganda, modifikatsiyalovchi kremnezemli komponent va mikroaromatizatsiyalovchi tolaning ta'siri ahamiyatsiz

xarakterga ega. G'ovaklar massivining asosiy o'lchami 250 dan 700 mkm gacha oraliqda o'zgarib turadi, bu esa minimal issiqlik o'tkazuvchanlikni ta'minlaydi, optimal sovuqqa chidamlilikda, chunki o'lchami 200 mkm dan yuqori bo'lgan g'ovaklar xavfsiz hisoblanadi.



**9-rasm. Tekshirilayotgan namunaning elektron mikroskopiysi**

Mikroskopik tadqiqotlar oldindan tayyorlangan yassi siniqlar va kukunsimon preparatlar ko'rinishidagi namunalarda, ularni chinni hovonchada maydalash yo'li bilan 25-56 marta ishchi kattalashtirish bilan MIN-8 qutblangan mikroskopda o'tkazildi.

Ushbu kristallar va shisha massasining miqdorini hisoblashdan iborat. Mikroskopning o'tuvchi yorug'ligida tayyorlangan namunaning barcha donalari kulrang bo'ladi. Analizator va polarizator yoqilganda (ayqash nikollarda) kristall hosilalar ko'rinadi va shisha massasi qora rangga kiradi. Donalarni hisoblashda kristall shakllanishlar o'rganilayotgan preparatning umumiy hajmining taxminan 8-10% ni tashkil qiladi, bunda kristall faza tarkibining minimal qiymati ilgari tasvirlangan qorayishga ega bo'lgan yacheykali beton massivi zonasidan olingan namunaga to'g'ri keladi. Olingan natijalar ma'lum ma'lumotlarga zid kelmaydi.

O'tkazilgan rentgenografik tadqiqotlar va petrografiya natijasida zarba texnologiyasi bo'yicha tayyorlangan o'rganilayotgan gazobeton strukturasidagi tobermorit fazasining fazaviy tarkibi aniqlandi va miqdoriy baholandi.

## 4. Xulosa

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida sanoat chiqindilari asosida tayyorlangan avtoklavsiz gazobetonning mikrostrukturasi va fazaviy tarkibi aniqlanib, materialning fizik-mexanik va issiqlik texnik ko'rsatkichlariga ijobiy ta'siri tasdiqlandi. Gazobeton namunalari 400-600 mkm diapazondagi g'ovak o'lchamiga ega bo'lib, bu issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining 0,138-0,147 W/(m·°C) oralig'ida saqlanishiga imkon berdi.

Aniqlangan fazaviy tarkib — tobermorite, xonotlite va boshqa gidrosilikat birikmalari — materialning mustahkamligini va uzoq muddatli ishlash xususiyatlarini yaxshilashda muhim rol o'ynaydi. Shuningdek, sanoat chiqindilaridan foydalanish nafaqat gazobetonning sifatini oshirdi, balki atrof-muhit uchun iqtisodiy va ekologik jihatdan ham foydali yechimlar taklif etdi.

Ushbu tadqiqot natijalari kelgusida energiya tejankor va yuqori sifatli gazobeton mahsulotlarini ishlab chiqarish uchun ilmiy asos yaratadi.

## Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Горлов Ю.П. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы [Текст] / Ю.П. Горлов, И.Ф. Еремин, Б.У. Седунов. -М.:Стройиздат, 2006.-192 с.
- [2] Миронов С.А. Бетоны автоклавного твердения [Текст] / [С.А. Миронов, М.Я. Кривицкий, Л.А. Малинина и др.]- Стройиздат, 2008.
- [3] Федоркин С.И. Механохимическая активация известняков при высокоскоростном измелчении и ее роль в формировании свойств карбонатных материалов на силикат- натриевом вяжущем [Текст] / С.И. Федоркин, М.А. Лукьяненко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сб. научн. тр. «Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта». — Днепропетровск: ПГАСА. — 2004. — Вып. 30. — С. 10 – 15.
- [4] Бондар А. В. Использование карбонатных пород как микронаполнителей в сухих строительных смесях пористой структуры [Текст] / А. В. Бондар, В. П. Ковалский, В. П. Очеретний // Сборник материалов международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016", Тюмен, 27-29 апреля 2016 г. – Тюмен : РИО ФГБОУ ВО ТИУ, 2016. – Т. II. – С. 207-213.
- [5] Давидюк А.Н. Конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны на стекловидных пористых заполнителях [Текст]: Дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук/ А.Н. Давидюк Ростов-на-Дону. - 2009. - 284 с.
- [6] Дятлов Е.М., Гайлевич С.А., Миненкова Г.Я., Радченко С.Л. Тугоплавкие теплоизоляционные материалы, полученные способами пено- и газообразования [Текст] / [Дятлов Е.М., Гайлевич С.А., Миненкова Г.Я., Радченко С.Л.] // Стекло и керамика.- 2002.-№2, с.20-23.
- [7] Акимов А. В. Разработка ячеистого дисперсно-армированного бетона автоклавного твердения модифицированного активными минеральными добавками : дис. — —Электронная библиотека диссертаций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 14.06. 2016), 2016.
- [8] Еременок П.Л. Известняковые бетоны и бетониты [Текст] / П.Л. Еременок, Ю.В. Измайлов, В.Е. Яшук // К.: Бюро техн. информации НИИСК АС и АН УССР. — 2008. — С. 18 – 23.
- [9] Shaumarov, S., Kandakhorov, S., Umarov, K. Development of the Optimal Composition of Aerated Concrete Materials on the Basis of Industrial Waste. AIP Conference Proceedings, 2022, 2432, 030087
- [10] Adilkhodjaev, A., Tsoy, V., Khodzhaev, S., Shaumarov, S., Umarov, K. Research of the influence of silicon-organic hydrophobizer on the basic properties of cement stone and mortar. International Journal of Advanced Science and Technology, 2020, 29(5), стр. 1918–1921
- [11] Shaumarov, S., Adilkhodjaev, A., Kondrazhenko, V. Experimental research of structural organization of heat-insulating structural building materials for energy efficient buildings. E3S Web of Conferences, 2019, 97, 02009
- [12] Галицков К. С., Баранова М. Н., Болховецкий А. С. Исследование влияния структурно-фазового



состава ячеистого бетона на внутреннее тепловыделение в процессе его автоклавной обработки //Градостроительство и архитектура. – 2023. – Т. 13. – №. 2. – С. 51.

[13] Газиев У.А. «Отходи промышленности в производстве строительных материалов и изделий». Учебник-Ташкент-2015. Стр. 232-242.

[14] Микелини Э. и др. Автоклавная ячеистая бетонная кладка для энергоэффективных зданий: современное состояние и перспективы развития //Строительство и строительные материалы. – 2023. – Т. 402. – С. 132996.

## Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

<b>B.G. Kodirov</b>	Toshkent davlat transport universiteti
---------------------	----------------------------------------

<b>S.S. Shaumarov</b>	Toshkent davlat transport universiteti
-----------------------	----------------------------------------

<b>S.I. Kandakhorov</b>	Toshkent davlat transport universiteti
-------------------------	----------------------------------------



## Analysis of technological properties of heat-insulating aerated concrete

**B.G. Kodirov<sup>1</sup>, S.S. Shaumarov<sup>1</sup>, S.I. Kandakhorov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article briefly describes the historical development of aerated concrete production technology, modern methods and the contribution of Uzbek scientists to this field, and also theoretically analyzes the relationship between the thermal insulation properties of autoclaved aerated concrete and its composition, porous structure and density. The study compared aerated concrete samples with different compositions (standard, slag and sand waste variants), analyzed their thermal conductivity coefficient ( $\lambda$ ), density ( $\rho$ ) and strength. According to the results, the thermal insulation capacity of aerated concrete improved by 12–15% by adding industrial waste, and the combination of slag and sand waste gave especially optimal indicators. In addition, the fact that the  $\lambda$  value of aerated concrete is linearly dependent on its density was expressed through the mathematical model ( $\lambda = f(\rho)$ ).

**Keywords:** aerated concrete, thermal insulation, autoclave, porosity, density, thermal conductivity coefficient, industrial waste

## Issiqlik izolyasiyalovchi gazobetonning texnologik xususiyatlarini tahlili

**Kodirov B.G.<sup>1</sup>, Shaumarov S.S.<sup>1</sup>, Kandahorov S.I.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqolada gazobeton ishlab chiqarish texnologiyasining tarixiy rivoji, zamonaviy usullar va O'zbekiston olimlarining ushbu sohadagi hissasi qisqacha yoritilgan bo'lib shu bilan birgalikda avtoklavli gazobetonning issiqlik izolyatsion xususiyatlari uning tarkibi, poroz tuzilishi va zichligi bilan bog'liqligi nazariy jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqotda turli tarkibli gazobeton namunalari (standart, shlak va qumli chiqindilar qo'shilgan variantlar) solishtirilgan, ularning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ( $\lambda$ ), zichligi ( $\rho$ ) va mustahkamligi analiz qilingan. Natijalarga ko'ra, sanoat chiqindilarini qo'shish orqali gazobetonning issiqlik izolyatsion qobiliyati 12–15% yaxshilanganligi, ayniqsa shlak va qumli chiqindilarning kombinatsiyasi optimal ko'rsatkichlar bergan yoritilgan. Bundan tashqari, gazobetonning  $\lambda$  qiymati uning zichligiga chiziqli bog'liq ekanligi matematik model ( $\lambda = f(\rho)$ ) orqali o'z ifodasini topgan.

**Kalit so'zlar:** gazobeton, issiqlik izolyatsiyasi, avtoklav, porozlik, zichlik, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, sanoat chiqindilari

### 1. Kirish

Bugungi kunda butun dunyoda energiya tejaydigan binolarni loyihalash va qurish jadal rivojlanib borayotganligi sababli, tejamkor va energiya tejovchi qurilish materiallariga bo'lgan talab muttasil ortib bormoqda. Mamlakatimiz qurilish sohasida amalga oshirilayotgan ijobiy o'zgarishlar, atrofimizda kuzatilayotgan keng ko'lamli bunyodkorlik ishlari nafaqat yangi texnika va texnologiyalarni ishlab chiqish va joriy etishni taqozo etadi, balki qurilish va binolarni ekspluatatsiya qilish xarajatlarining oshishiga ham xizmat qilmoqda.

Shu nuqtai nazardan, energiya tejovchi binolarni loyihalash va qurishda tashqi devorlar uchun samarali issiqlik izolyatsiyalash materiallarini qo'llash yoki ularning ekspluatatsiya samaradorligini ta'minlash uchun devor konstruksiyalarini zamonaviy issiqlik izolyatsiyasi standartlariga moslashtirishga alohida ahamiyat beriladi.

Hozirgi vaqtda rivojlangan mamlakatlarda energiya tejamkor va ekologik toza materiallar sifatida tan olingan gazbetondan tashqi o'rab turuvchi konstruksiyalarni yaratishga qaratilgan keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilmoqda. Shu munosabat bilan, gazbetonda issiqlik muhofazasi va mexanik mustahkamlik talablarini bir vaqtning o'zida qondirish uchun optimal g'ovakli konstruksiyalarni ishlab chiqish, aralashmalarga maxsus

kimyoviy qo'shimchalar kiritish orqali betonning xususiyatlarini oshirish va energiya tejamkor tashqi devor konstruksiyalari uchun asosli talablarni shakllantirish dolzarb ilmiy vazifalardan biridir. Bundan tashqari, yuqori issiqlik qarshiligi va chidamliligi bilan tashqi devor tizimlarini ishlab chiqarishni ta'minlash uchun texnologik echimlar ishlab chiqilishi kerak

Zamonaviy qurilishda energiya tejamkor va ekologik xavfsiz qurilish materiallariga ehtiyoj ortib bormoqda. Shu kontekstda yengil va issiqlikni yaxshi saqlovchi gazobetonlar alohida e'tiborga loyiq. Gazobetonning asosiy afzalliklari – uning past issiqlik o'tkazuvchanligi, yengilligi, qurilish tezligini oshirishi va ekologik tozaligidir. Biroq, uning issiqlik izolyatsion xususiyatlari tarkibiy komponentlar, poroz tuzilish va ishlab chiqarish texnologiyasiga qarab sezilarli farq qiladi. Mazkur tadqiqot gazobetonning texnologik xususiyatlarini o'rganishga, tarkibiy modifikatsiya orqali uning issiqlik-izolyatsion samaradorligini oshirishga qaratilgan. Avvalgi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, zichlikning oshishi issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining oshishiga olib keladi, chunki materialdagi g'ovaklar soni kamayadi va bu issiqlik izolyatsiyasini pasaytiradi. Biroq, zichlikning juda past darajasi esa materialning mexanik mustahkamligini kamaytiradi, bu esa qurilish jarayonida qo'shimcha muammolarni keltirib chiqaradi. Shunday ekan, optimal





issiqlik izolyatsiya va mexanik mustahkamlikni ta'minlaydigan gazobeton parametrlarini aniqlash dolzarb vazifadir. Ushbu tadqiqot davomida tsement, silikat qum, alyuminiy kukuni va sanoat chiqindilari asosida ishlab chiqarilgan gazobeton namunalari zichlik va issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari laboratoriya sharoitlarida tajribaviy tarzda o'lchandi va matematik bog'liqliklar ishlab chiqildi. Natijada gazobetonning amaliy ekspluatatsiya sharoitlaridagi samarali foydalanish sohalari belgilandi va konstruktiv tavsiyalar berildi.

## 2. Tadqiqot metodikasi

Gazobeton namunalariga tsement, silikatli qum, alyuminiy kukuni va sanoat chiqindilari turli nisbatlarda qo'shilgan. Gazobeton namunalarini tayyorlashda portlandsement, silikatli qum, alyuminiy kukuni va sanoat chiqindilari (po'lat shlaki, chiqindi qum) ma'lum nisbatlarda aralashtirildi. Suv-sement nisbati 0,5 miqdorda saqlanib, yuqori g'ovaklik va bir xillik ta'minlandi. Sinovlar laboratoriya sharoitida, quyidagi parametrlar asosida o'tkazilgan ya'ni tayyorlangan aralashma 180°C haroratda va 1,2 MPa bosim ostida 8 soat davomida avtoklavlangan. Bu jarayon gazobetonning mexanik va issiqlik texnik xossalari barqarorlashtirish uchun amalga oshirildi.

O'rtacha zichlik ( $\text{kg/m}^3$ ) – quritilgan namunalar yordamida GOST 12730.1-78 standarti asosida aniqlandi. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ( $\text{W/m} \cdot \text{K}$ ) – ITP-MG “Zond” qurilmasidan foydalanilgan holda, GOST 30256-94 talablariga binoan o'lchandi. Mustahkamlik (MPa) – siqish kuchiga sinovlar o'tkazildi.

1-jadval

Gazobeton tarkibi va uning asosiy texnik xususiyatlari

Tarkibiy variant	Zichlik ( $\text{kg/m}^3$ )	Issiqlik o'tkazuvchanlik ( $\text{W/m} \cdot \text{K}$ )	Mustahkamlik (MPa)
Standart	600	0.165	2.0
Shlak qo'shilgan	670	0.143	1.68
Qumli chiqindi	665	0.144	1.66
Ikkala birgalikda	652	0.132	1.675

Sanoat chiqindilari qo'shilishi orqali gazobetonning ichki tuzilmasida g'ovaklarning teng taqsimlanishi ta'minlangan. Bu esa materialning issiqlik izolyatsiyasini 12-15% yaxshilagan. Ayniqsa, po'lat shlaki va chiqindi qumning birgalikdagi qo'llanilishi optimal natija bergan.

## 3. Natija va muhokamalar

Gazbeton-gazobeton agregatlari va suv bilan to'ldirilishi mumkin bo'lgan agregatlardan tashkil topgan gidravlik beton (tsement, beton) turi. U eng keng tarqalgan zamonaviy qurilish materiallaridan biri bo'lib, yengil, issiqlikni yaxshi ushlab turuvchi va mustahkamlik jihatidan ishonchli bo'lishi bilan ajralib turadi.

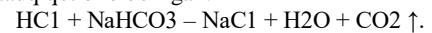
Gazbeton betonning umumiy hajmining taxminan 60% ni tashkil qiladi. Misol uchun, zichligi 500  $\text{kg/m}^3$  bo'lgan betonda 70-75% loy mavjud. Beton tarkibidagi o'zgarish unga maxsus gaz aralashmalarining kiritilishi natijasida yuzaga keladi. Gazbetonning tasnifi fizik, mexanik va

ekspluatatsion xususiyatlari bilan farq qiluvchi gazbeton va ko'pikli betonga bo'linadi.

Gidrotermik ishlov berish usuliga ko'ra g'ovakbetonlar ikkita asosiy guruhga bo'linadi: avtoklav va avtoklavsiz.

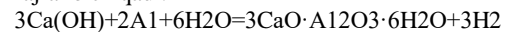
Avtoklavli gazobetonlarning sifati sezilarli darajada farq qiladi, chunki ularning mineralogik tarkibi juda o'zgaruvchan. Avtoklav gazobeton ishlab chiqarish XIX asr oxirida rivojlana boshlagan. 1880 yilda Mixaylis 9-10 soat davomida 0,75-0,85 MPa bosim ostida ohak-qum aralashmasidan avtoklav usulida ishlangan gazobeton uchun patent olgan. Mixaylisning tadqiqotlari shuni ko'rsatadiki, gazobeton ishlab chiqarishda avtoklavli gazobetonlardan foydalanish texnologik jihatdan ancha murakkab hisoblanadi. Ushbu texnologiyaning tarqalishi ko'p sonli aholi uchun mo'ljallangan ko'p qavatli uylarini qurishda katta ahamiyatga ega. Biroq, avtoklavli gazobetonlar nisbatan qimmat hisoblanadi, bu esa uy-joy narxining oshishiga olib keladi.

1889 yilda Chexiya Respublikasining Praga shahrida Gofman tomonidan karbonat angidrid gazi ( $\text{CO}_2$ ) asosida gazobeton ishlab chiqarishda xlorid kislotasi va bikarbonat natriy ( $\text{NaHCO}_3$ ) bilan reaksiyaga kirishishidan hosil qilingan tadqiqot olib borilgan:



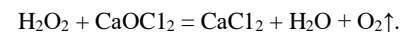
Ushbu kashfiyot asosida xonalarni ajratuvchi pardadevor uchun gazogipsli blok plitalar ishlab chiqarilgan. Ammo, ushbu plitalar suvga bardoshligi pastligi sababli xonaning namligi ortgan sari uning izolyatsiya va mustahkamligini pasaytirishiga olib keladi. Bu esa konstruktiv xizmat muddatini kamayishiga olib kelgan.

Gazobeton portlandsement, qumtuproqli tashkil qiluvchi, gaz hosil qiluvchi modda va qo'shimcha sifatida ohak qo'shib tayyorlanadi. Gaz hosil qiluvchi modda sifatida ko'pincha alyuminiy kukuni ishlatiladi. Bunda alyuminiy kukuni portlandsementning gidratlanishidan hosil bo'lgan kaltsiy gidroksidi bilan o'zaro reaksiyasi natijasida vodorod gazi ajralib chiqadi:

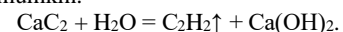


Ma'lum quyuqlikdagi gazobeton qorishmasidagi vodorod gazi chiqish jarayonida to'siqlarga uchrab, betonlarda g'ovaklarni hosil qiladi [18].

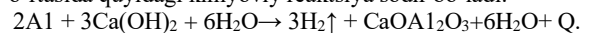
Gazobeton uchun keyingi ilmiy tadqiqot 1917 yilda Gollandiyalik olimlar tomonidan taklif etilib, unga ko'ra gazobetonda ko'pirtirish vositasi sifatida organik qo'shimcha (xamirturush) ishlatilgan. Biroq, organik qo'shimchalarning betonga zararli ta'siri tufayli ixtiro keng qo'llanilmagan. Bir qator patentlarda g'ovakbetonning gazlanishi va ko'pchishi uchun kaltsiy gipoxlorit ( $\text{CaOCl}_2$ ) bilan vodorod peroksidi ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dan foydalanishni tavsiya qilingan bo'lib, bunda kimyoviy aralashmaning ko'pchishi reaksiya paytida kislorodning ajralib chiqishi tufayli amalga oshiriladi:



G'ovakbetonni kaltsiy karbid ( $\text{CaC}_2$ ) va atsetilen gazi ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) chiqishi bilan parchalanish reaksiyasi natijasida ham olinishi mumkin:



1919 yilda Germaniyaning Berlin shahrida nemis olimi Grosh tomonidan gazobetonishlab chiqarishda gaz hosil qilish uchun metall kukunidan foydalanishni birinchi bo'lib taklif qildi. Ma'lumki, alyuminiy va kaltsiy gidrat oksidi o'rtasida quyidagi kimyoviy reaksiya sodir bo'ladi:



Reaksiya jarayonida ko'p miqdorda gaz (vodorod) hosil bo'ladi va issiqlik ajralishi natijasida



gazobetonaralashmasining ko'piklanishi kuzatiladi hamda suv bug'lanishi natijasida qotish jarayoni tezlashadi. Alyuminiy kukuni aralashma tarkibiga kiritilganda, bir xil tuzilishga ega bo'lgan g'ovaklar hosil bo'ladi. Alyuminiy kukuni gazobetonkonstruksiya sifatini va binolar ekspluatatsiya jarayonida ularning chidamliligini oshirish uchun xizmat qiladi.

Keyingi paytlarda gazobeton ishlab chiqarish rivojlanib bormoqda. Shuni ta'kidlash kerakki, gazobeton tarkibidagi g'ovaklarni bir xillikka olib kelish uchun aralashma tarkibiga alyuminiy kukuni bilan kerakli suv miqdorini qo'shish kerak bo'ladi, gazobeton penobetonidan farqli o'laroq zarralari bir xil bo'lgan bloklar faqat suv miqdori ko'proq bo'lgan aralashmalarda hosil bo'ladi. Bundan tashqari, barcha tavsiya etilgan usullarda gaz hosil qilish uchun noorganik moddalardan foydalanish orqali amalga oshiriladi. Gazobeton ishlab chiqarishda barcha MDH mamlakatlarida aralashmalarni qoliqlarga quyish yo'li bilan, ya'ni "qoliqlash texnologiyasi" orqali bloklarni ishlab chiqarish ommalashgan yo'l hisoblanadi [1].

XX asrning 90 yillarida gazobeton konstruksiyalarni ishlab chiqarish texnologiyasi temirbeton konstruksiyalar texnologiyasidan sezilarli darajada farq qiluvchi bir qator xususiyatlarga ega bo'lgan.

Bu xususiyatlar:

- belgilangan parametrlil gazobeton aralashmasini tayyorlash uchun zarralari mayda o'lchamli to'ldirgichlar hosil qilish;
- ohak asosiy xom ashyo komponenti bo'lib, bu aralashmani kengayish xususiyatini belgilab beradi va o'ning yengillashishiga olib keladi;
- tarkibida 40-60 foiz suv bo'lgan qorishmalardan iborat gazobeton mahsulotlaridan tashkil topgan aralashma tayyorlash;
- gazobeton aralashmasini qoliqlarga joylash;
- avtoklav gazobetonning qotish jarayoni gidratlangan birikmalarda 170-180 °C haroratda sintezlanishi natijasida sodir bo'ladi [2].

Avtoklav gazobeton bu muayyan miqdordagi g'ovaklarga ega bo'lgan, namlikka, yong'inga va sovuqqa chidamliligi yuqori bo'lgan ekologik toza material hisoblanadi. Gazobeton konstruksiyalaridan foydalanishda, bloklarning vazni yengilligi sababli poydevorga tushadigan yukni deyarli 5 baravargacha kamaytirishi sababli qurilish jarayonlarini 10 baravargacha tezlashtirish imkonini beradi [3].

MDH mamlakatlardagi bir qator yirik tashkilot va korxonalarda tebranma texnologiyasi usulidan foydalangan holda komponentlarni aralashtirish va hosil bo'lgan qorishmani qoliqlash orqali gazobetonlarni ishlab chiqarishni yo'lga qo'yilgan bo'lib, ushbu texnologiyaning afzalligi barcha komponentlar bir tekisda aralashtirishi, shu bilan birga qorishmaning ko'pchilik jarayoni sekinlashadi [4].

Betonning g'ovaklilik tuzilishi - hosil bo'lgan gazning hajmi va aralashmaning zichligi, donoadorligi, suv harorati hamda to'ldiruvchi va bog'lovchilarning miqdori kabi xususiyatlari xususiyatlari bilan tavsiflanadi. Gazobetonlarni qoliqlarga quyish texnologiyasida aralashmani ko'pchilik jarayoni faqat boshlang'ich komponentlarning sifati va miqdori bilan belgilanadi. Tebranma ta'sirlardan foydalanish aralashmaning tarkibiy tuzilishi, moddalarning o'zaro birikishi, aralashmaning betonga nisbatan o'zgarishini hisobga olgan holda ushbu jarayonni tartibga solish imkonini beradi. Ma'lumki, gazobeton aralashmasining qovushqoqligi yetarli darajada

bo'lmaganda gaz hosil bo'lishi fazasining muvozanati buziladi, gaz hosil qiluvchi moddalar to'liq reaksiyaga kirishmasa aralashmaning yetarli darajada ko'tarilmasligi, bu esa ma'lum vaqt o'tgandan so'ng ajralib betonlarda nuqsonlar paydo bo'lishiga olib keladi. Agar qovushqoqlik juda yuqori darajada bo'lsa, mahsulotlarning ko'pchilik sekinlashadi va gazobeton aralashmasi kutilgan darajada ko'tarilmaydi, bu esa gazobetonning vazni og'irlashishiga olib keladi. Shu bilan birga, gaz hosil qiluvchi moddalar ko'p miqdorda reaksiya berishi natijasida, gazobeton strukturasida yoriqlar paydo bo'lishiga va betonning ekspluatatsiya muddati kamayishiga olib keladi. Qorishmaning qovushqoqlik xususiyati kamayishi yoki ortib ketishi har ikkala holatda ham beton mikrostrukturasining buzilishiga va sifati pasayishiga olib keladi. Shuning uchun, qorishmaning ko'pchilik uchun normal holatda qovushishini ta'minlash kerak, buning uchun esa aralashmani suyultirish orqali va turli xildagi qo'shimchalar kiritish mumkin. Gazobeton aralashmalarning ko'pchilik va strukturasini shakllantirish jarayonida gazning qorishma tarkibidan chiqish tezligi normal holatda bo'lishi talab etiladi [5].

Gazobetonlarni qoliqlarga quygan holda bloklarni hosil qilishda avtoklavsiz g'ovakbeton tayyorlash texnologiyasi bir qator kamchiliklarga ega:

- texnik jihatdan nomukammal;
- tsementning ko'p miqdorda sarf bo'lishi;
- konstruksiya hosil bo'lishida past miqdorda bosim berilishi;
- og'irligi bo'yicha 20 – 30 foizgacha bo'lgan yuqori namlik;
- avtoklav betonning xususiyatlariga nisbatan yoriqbardoshligi past darajada bo'lganligi bilan tavsiflanadi.

Bu sanoat ishlab chiqarilishida miqyosida avtoklavsiz gazobeton olishda ushbu kamchiliklarni bartaraf etishga asos bo'ladi [6].

Avtoklav gazobetonlarga ishlov berish jarayonida betonning strukturasida mikrodefektlar paydo bo'lishi, bu mahsulot va konstruksiyalarning chidamliligini pasayishiga olib kelishi hamda ularni tayyorlash texnologiyasi avtoklavsiz gazobetonlarga qaraganda ancha murakkab va narxi ancha qimmat bo'lganligi sababli avtoklav bo'lmagan betonlardan foydalanish anchagina iqtisodiy samaradorlikka olib keladi [7].

Bu borada A.D. Dikun va G.P. Saxarovning olib borgan tadqiqot natijalariga ko'ra shimolda barpo etilgan binolarda o'rtacha zichligi 1000 kg/m<sup>3</sup> bo'lgan avtoklav gazobetonlarni 17 yil ekspluatatsiya qilingandan so'ng gazobeton strukturasida salbiy o'zgarishlar: muzlash va yemirilish, turli xildagi yoriqlar, mog'orlashlar kuzatilgan. Ushbu konstruksiyalarning kamchiligi xizmat muddatining kamayishi va issiqlik o'tkazuvchanligining yuqori ekanligidir [8-9].

Bundan tashqari B.P. Danilov va A.A. Bogdanov tomonidan gazobeton bloklarining ekspluatatsiya jarayonida yemirilishini oldini olish uchun betonning g'ovakli strukturasining turli ta'sirlarga chidamliligini oshirish bo'yicha bir qator ijobiy natijalarga erishilgan [10-11].

Shu bilan bir qatorda gazobeton ishlab chiqarish nazariyasi va texnologiyasining asoslari bo'yicha V.A. Kitaytsev, K.E. Goryaynov va keyinchalik Yu.M. Bazgenov, Yu.P. Gorlov, A.P. Merkin, E.V. Gladkix va boshqa atoqli olimlar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan va ommalashtirilgan. Gazobeton olish texnologiyasining rivojlantirish va takomillashtirishning hozirgi bosqichida X.S. Vorob'ev, A.A. Axundova, I.B. Udachkina, U.X. Magdeeva, Yu.P. Trifonova, V.G. Suxova, E.V. Silaenkova,



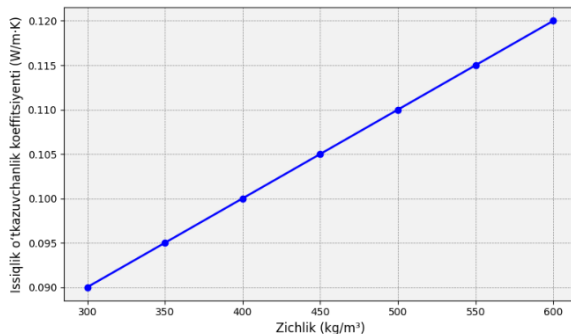
G.Ya. Axmaniskiy tomonidan olib borilgan. Ushbu tadqiqotlarda 300-500 kg/m<sup>3</sup> zichlikdagi gazobetonlar ishlab chiqarishga mo'ljallangan bo'lib, asosan bino ichki parda devorlarida foydalanishga mo'ljallangan. Ammo, ushbu bloklarning kamchiligi gazobeton konstruksiyalarning mustahkamligi yetarli darajada emasligi sababli ularning katta kamchiligi hisoblanadi [1, 12, 13].

O'zbekiston olimlari A.I. Adilxodjaev, Ye.V. Shipacheva va boshqalar tomonidan olib borilgan ilmiy tadqiqotlarida oldindan belgilangan xossalarga ega bo'lgan gazobeton strukturasidagi g'ovaklar kubik va geksogonal tartibda joylashtirish orqali uning mustahkamligining oshishi ilmiy isbotlangan [14-15].

Gazobeton tarkibiga chiqindilarni qo'llash bo'yicha mahalliy olimlardan A.X. Alinazarov o'zining ilmiy tadqiqotlarida Farg'ona IES kulini kul-tsementli kompozitsiyasida qo'llash masalasiga qaratilgan [15]. Olim kulning 40-80 foiz miqdorida kiritilishi kul-tsementli kompozitsiyaning issiqlik o'tkazuvchanligi yaxshilanishiga olib kelishi ilmiy isbotlangan. Bu esa sanoat chiqindilarini gazobetonakiritish samaradorligini hamda kulning kichik gidravlik aktivligi bilan tushuntiriladi. Kompozitsiya tarkibida kul miqdorining 80 foizgacha kiritishda mustahkamlik kinetikasining sekinlashuvi aniqlandi. Shuni ta'kidlash kerakki, mayda to'ldiruvchilarni iqtisod qilish va mustahkamligini oshirish uchun xizmat qiladi [16-17].

Gazobeton bloklarining yaxshilangan issiqlik texnik xossalari binoning issiqlik tejamkorlik va energiyasamaradorlik ko'rsatkichlarini, shuningdek, uzoq muddat ekspluatatsiya qilishga yordam beradi. Shuning uchun ushbu xossalarni yaxshilash uchun xizmat qiladigan materiallar xom ashyo bazasining mavjudligi muhim hisoblanadi. Shu boisdan ham gazobeton xom ashyosi materiallari xossalarni ko'rib chiqamiz.

Issiqlik izolyasiyalovchi gazobetonning issiqlik-texnik xossalarni tahlil qilishda materialning zichligi muhim rol o'ynaydi. Quyidagi grafikda gazobetonning zichligi ortishi bilan issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti qanday o'zgarishi ko'rsatilgan.



#### 1-rasm. Zichlik va issiqlik o'tkazuvchanlik bog'liqligi

Grafikdan ko'rinib turibdiki, zichlik 300 kg/m<sup>3</sup> dan 600 kg/m<sup>3</sup> gacha oshganda, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti ham mos ravishda 0.09 W/m·K dan 0.12 W/m·K gacha ortmoqda. Bu hodisa fizika jihatdan tushunarli: zichlik ortgani sari materialdagi g'ovaklik darajasi kamayadi, ya'ni issiqlikni tutib turuvchi havo yostiqchalari soni qisqaradi. Natijada issiqlik energiyasi materialdan tezroq o'ta boshlaydi.

Gazobetonning asosiy issiqlik izolyasiyalovchi xususiyati — uning g'ovakli (poroz) tuzilmasi bilan bog'liq. Material ichida millionlab mayda havo yostiqchalari mavjud bo'lib, aynan havo (yoki gaz) issiqlikni juda sust o'tkazadi. Bu shuni anglatadiki:

G'ovaklar qancha ko'p va mayda bo'lsa, materialning issiqlik o'tkazuvchanligi shuncha past bo'ladi. Shunday qilib, tashqarisi issiq bo'lsa — ichki qism sovuq qoladi, va aksincha, sovuq havoda esa bino ichidagi issiqlik uzoq saqlanadi.

Bu fizik jihatdan "issiqlik inertsiasiyasi" va "issiqlik qarshiligi" deb ataladigan xususiyatlarga bog'liq. Ya'ni, gazobeton issiqlik oqimini sekinlashtiradi, uni to'liq o'tkazib yubormaydi, natijada uy ichida barqaror, qulay mikroiklim saqlanadi. Shu bilangina gazobetonning "nafas oluvchi issiqlik qalqoni": u na issiqlikni tez o'tkazmaydi, na sovuqni, shu sababli uydagi harorat uzoq muddat davomida barqaror bo'lishini ta'minlaydi.

Gazobetonning zichligi ( $\rho$ ) uning hajm birlik massasini anglatadi va odatda kg/m<sup>3</sup> birlikda ifodalanadi. Ko'pincha gazobeton quyidagi zichlik oralqlarida ishlab chiqariladi: 300–400 kg/m<sup>3</sup> — juda yengil (izolyatsion gazobeton), 500–600 kg/m<sup>3</sup> — konstruktiv-izolyatsion gazobeton, 700–900 kg/m<sup>3</sup> — ko'proq konstruktiv yuk ko'taruvchi gazobeton.

Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti — materialning issiqlikni o'tkazish xususiyatini ifodalovchi asosiy ko'rsatkich bo'lib, W/(m·K) bilan o'lchanadi. Qiymat qanchalik kichik bo'lsa, material shuncha yaxshi issiqlik izolyatoridir. Bunga misol sifatida quyidagi jadvalni keltirish mumkin:

2-jadval

#### Gazobetonning zichligi va issiqlik o'tkazuvchanligi bog'liqligi

Gazobetonning zichligi, kg/m <sup>3</sup>	Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti $\lambda$ , W/(m·K)
300	0,07–0,09
400	0,09–0,12
500	0,12–0,14
600	0,14–0,17
700	0,17–0,20
800	0,20–0,24

Gazobetonning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti faqat uning zichligiga bog'liq ekanligi asoslangan. Quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

$$\lambda_g = \frac{\rho_g}{\rho_k} \lambda_k + (1 - \frac{\rho_g}{\rho_k}) \lambda_v \quad (1)$$

bu yerda:

$\lambda_g$  — gazobetonning issiqlik o'tkazuvchanligi;

$\rho_g$  — gazobeton zichligi;

$\rho_k$  — mikroporali tsement toshi (MKT) zichligi;

$\lambda_k$  — MKT ning issiqlik o'tkazuvchanligi;

$\lambda_v$  — havoning issiqlik o'tkazuvchanligi (20°C da 0,02 W/(m·°C) ga teng).

Yuqoridagi tahlillar shuni ko'rsatadiki, eng yuqori issiqlik izolyatsiyasi 300–400 kg/m<sup>3</sup> zichlikdagi gazobetonlarda kuzatiladi. Shu sababli energiya tejamkor qurilishlarda aynan shu diapazondagi materiallardan foydalanish tavsiya etiladi. Bundan tashqari, yuqori zichlikka ega gazobetonlar (500–600 kg/m<sup>3</sup>) konstruksion yuk ko'tarish xususiyatlari bilan ajralib turadi, ammo ularning issiqlik o'tkazuvchanligi nisbatan yuqori bo'ladi. Shu bois, ularni tashqi devorlar emas, balki yuk ko'taruvchi devorlar yoki ichki devorlar uchun ishlatish maqsadga

muvofigdir. Ushbu tahlil material tanlashda muvozanatli yondashuv zarurligini ko'rsatadi: issiqlik izolyatsiyasi va mexanik mustahkamlik o'rtasidagi optimal nisbat loyihaning maqsadiga qarab aniqlanishi lozim.

#### 4. Xulosa

Gazobetonning zichligi kamayishi bilan uning tarkibidagi havo miqdori ko'payib, issiqlik izolyatsiya xossalari yaxshilanadi, ammo mexanik mustahkamlik kamayadi. Shu sababli gazobetonni tanlashda qurilishning maqsadi va ekspluatatsiya sharoitlariga qarab optimal zichlik va issiqlik koeffitsiyentini tanlash zarur bo'ladi.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasida gazobetonning zichligi va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti o'rtasidagi aniq bog'liqlik ilmiy asosda tasdiqlandi. Zichlik ortgani sari issiqlik o'tkazuvchanligi ortadi, bu esa g'ovaklar sonining kamayishi bilan izohlanadi. Zichligi 300–400 kg/m<sup>3</sup> oralig'idagi gazobeton namunalari eng yaxshi issiqlik izolyatsiyasini ko'rsatdi, ammo konstruktiv mustahkamligi past bo'lishi sababli faqat ichki issiqlik izolyatsion element sifatida tavsiya etiladi.

Zichligi 500–600 kg/m<sup>3</sup> oralig'idagi gazobeton optimal mustahkamlik va issiqlik izolyatsiyasini ta'minlaydi, shuning uchun ham tashqi va ichki konstruktiv elementlarda keng qo'llanilishi mumkin. 700 kg/m<sup>3</sup> va undan yuqori zichlikdagi gazobetonlar esa yuk ko'taruvchi konstruksiyalar uchun mo'ljallangan, ammo issiqlik izolyatsiya ko'rsatkichlari ancha past bo'ladi.

Xulosa qilib aytganda, gazobeton parametrlarini tanlashda loyihaning ekspluatatsion talablarini hisobga olish muhim. Energiya tejankor qurilishlarda past zichlikdagi gazobetonni ishlatish samaraliroq, ammo konstruktiv mustahkamlik talab etilganda o'rta zichlikdagi materiallardan foydalanish tavsiya etiladi. Bu tadqiqot natijalari gazobeton ishlab chiqarishda optimal parametrlarni tanlashga ilmiy asos yaratadi va qurilish sanoatida energiya tejankor, samarali yechimlar yaratishga xizmat qiladi.

#### Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] Сажнев Н.П. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика [Текст] / [Н.П. Сажнев, В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич и др.]-Мн.:Стринко, 2009.- С 22-24
- [2] Федин А.А. Ячеистые бетоны на основе местного и попутного сырья [Текст] / А.А. Федин.- М.: ВНИИТИИЭПСМ, 2009.-С-8.
- [3] Ахундов А.А. Состояние и направления развития производства легких бетонов в России [Текст] / А.А. Ахундов, Ю.В. Гудков // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Материалы международной научно-практической конференции. - Ростов-на-Дону. - 2000. - С. 50 - 55.
- [4] Воробев Х.С. Бескрановая конвейерная линия "Виброблок" для производства стеновых блоков из ячеистого бетона [Текст] / Х.С. Воробев // Строительные материалы. - 2003. - № 7. - С. 2 - 4.

[5] Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий [Текст] / Ю.П. Горлов.- М.: Выс. шк., 1989. С. 77—89.

[6] Волженский А.В. Изготовление изделий из неавтоклавного газобетона [Текст] / А.В. Волженский // Стр.матер. - 2003. - № 8. - С. 12-13.

[7] Паплавский Я.М. Предпосылки дальнейшего развития производства и применения ячеистого бетона в современных условиях [Текст] / Я.М. Паплавский и др. // Строительные материалы. - 2006. - № 3. - С. 2 - 6.

[8] Дикун А.Д. Дилатометрические исследования газозобетона [Текст] / А.Д. Дикун, Т.В. Златинская // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов: Тез. докл. 6-ой Республ. конф. - Таллин, 2007. ч. 1-79 с.

[9] Сахаров Г.П. Сравнительная оценка надежности газобетона разных видов и структуры [Текст] / Г.П. Сахаров, Б.Н. Виноградов, С.В. Кропивницкий // Бетон и железобетон. - 2007. - №3, - С. 6-8.

[10] Гладков Д.И. Баротехнология ячеистобетонных изделий [Текст] / Д.И. Гладков, Л.А. Сулейманова, А.Б. Мананов // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Материалы международной научно-практической конференции. - Ростов-на-Дону. - 2000. - С. 125 - 127.

[11] Данилов Б.П., Богданов А.А. Ограждающие конструкции из ячеистого бетона переменной плотности [Текст] / Б.П. Данилов, А.А. Богданов.- М.: Стройиздат, 2004. - 102 с.

[12] Hebei. Technical Handbook / Edition 5 / CSR Hebei (Australia) - Ptyltd ACN 003.392.621.2003.220 с.

[13] Меркин А.П. Формирование макроструктуры ячеистых бетонов [Текст] / А.П. Меркин и др. // Строительные материалы. - 1963-№ 12- С. 16-17.

[14] Shaumarov, S., Kandakhorov, S., Umarov, K. Development of the Optimal Composition of Aerated Concrete Materials on the Basis of Industrial Waste. AIP Conference Proceedings, 2022, 2432, 030087

[15] Shaumarov, S., Adilkhodjaev, A., Kondrazhenko, V. Experimental research of structural organization of heat-insulating structural building materials for energy efficient buildings. E3S Web of Conferences, 2019, 97, 02009

[16] Газиёв У.А., Ризаев Х.А. К проблеме эффективности использования отходов промышленного производства. Журнал Общественные науки в Узбекистане» Ташкент-2000. Стр. 55-56.

[17] Газиёв У.А. «Отходы промышленности в производстве строительных материалов и изделий». Учебник-Ташкент-2015. Стр. 232-242.

[18] www.som.ru интернет тармоғи.

#### Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**B.G. Kodirov** Toshkent davlat transport universiteti

**S.S. Shaumarov** Toshkent davlat transport universiteti

**S.I. Kandakhorov** Toshkent davlat transport universiteti



## Study of the efficiency of using thin-walled structures in industrial building covering

L.V. Bocharova<sup>1</sup>, K.A. Muhammadsoliyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article is devoted to the study of the efficiency of using reinforced concrete thin-walled structures in the roofs of industrial buildings. Using the example of two design solutions for covering an industrial building (with and without the use of KZhS type shell panels), a comparative analysis of technical and economic indicators is provided: by the number of supporting structures, the consumption of materials for them, the dead weight of the covering, as well as the time it takes to erect the covering at the construction site. The advantages, conditions and rationality of application in coatings of thin-walled spatial structures are revealed.

**Keywords:** industrial buildings, alternative design, design solution, covering, ribbed panel, rafter truss, shell panel, purlin, load, material consumption, time standard

## Исследование эффективности применения тонкостенных конструкций в покрытиях промышленных зданий

Бочарова Л.В.<sup>1</sup>, Мухаммадсолиев К.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Статья посвящается изучению эффективности применения железобетонных тонкостенных конструкций в покрытиях промышленных зданий. На примере двух конструктивных решений покрытия промышленного здания (с применением панелей-оболочек типа КЖС и без них) приводится сравнительный анализ технико-экономических показателей: по количеству несущих конструкций, расходу материалов на них, собственному весу покрытия, а также сроком возведения покрытия на строительной площадке. Выявлены преимущества, условия и рациональность применения в покрытиях тонкостенных пространственных конструкциях.

**Ключевые слова:** промышленные здания, вариантное проектирование, конструктивное решение, покрытие, ребристая панель, стропильная ферма, панель-оболочка, подстропильная балка, нагрузка, расход материалов, норма времени

### 1. Введение

В связи с ростом населения и его благосостояния в городах Республики возникает определенная проблема увеличения транспортных потоков общественного транспорта и легковых машин.

С развитием жилищного, общественного и промышленного строительства увеличивается доля грузового транспорта – машин для перевозки строительных конструкций и материалов, контейнеровозов и других строительных машин различного назначения.

Большая номенклатура автомобильного транспорта различного назначения требует увеличения строительства центров по техническому обслуживанию и комплексному ремонту автомобилей и строительной техники. Строительство таких предприятий желательно размещать в границах городской застройки, не нарушая существующего архитектурно-планировочного решения района в целом, обеспечивая обособленные логистические подъезды в целях пропускной способности улиц и дорог. Эти требования могут быть выполнены при применении современных конструктивных решений зданий, в частности, с применением тонкостенных пространственных

покрытий, а также оформлением фасадов здания в соответствии с окружающим декором из современных отделочных материалов.

В соответствии с выше изложенным, достаточно актуальным является применение современных требований к проектированию зданий технического назначения, строящихся в расширяющихся границах городской застройки.

### 2. Методология исследования

Исследование эффективности конструктивных решений покрытия промышленных зданий с применением тонкостенных конструкций производилось с использованием в расчётах теоретических, нормативных и методических материалов.

В качестве метода исследования использовался сравнительный анализ вариантного проектирования конструктивных решений покрытий и их технико-экономических показателей (ТЭП).

Современный зарубежный опыт демонстрирует разнообразие применяемых покрытий промышленных зданий, позволяющее снизить нагрузки от покрытия, что особенно важно в сейсмически опасных регионах, а также придать зданию зрительную «легкость»,





привлекательность за счет современного дизайна и функциональную индивидуальность.

### 3. Результаты и обсуждения

#### *Технико-экономическое сравнение двух вариантов конструктивных схем покрытия одноэтажного здания «Центра по комплексному ремонту автомобилей в г.Самарканде»*

В составе студенческой выпускной работы были запроектированы два варианта конструктивных схем покрытия одноэтажной поперечной рамы каркаса здания «Центра по комплексному ремонту автомобилей».

Согласно **I-го варианта** в состав покрытия трехпролетной одноэтажной поперечной рамы входили железобетонные сегментные фермы с раскосной решеткой пролетом 18м, на которые опирались железобетонные ребристые плиты покрытия размерами в плане 3х6м, длиной 5,97м.

Согласно **II-го варианта** в состав покрытия трехпролетной одноэтажной поперечной рамы входили панели-оболочки пролетом 18м типа КЖС 3х18

(крупноразмерная, железобетонная, сводчатая), с шириной между диафрагмами 3м. В покрытии панели-оболочки опираются на подстропильные балки, уложенные вдоль продольных осей колонн с шагом 6м. По панелям укладывается теплое покрытие. Отвод воды с кровли осуществляется через внутренние водостоки. В местах ендов и расположения воронок предусматривают укладку дополнительного слоя бетона классов В7.5÷В10 и водоизоляционного ковра.

Конструкция панели-оболочки типа КЖС представляет собой короткий цилиндрический пологий предварительно напряженный свод-оболочку с двумя ребрами-диафрагмами сегментного очертания (рис.1). Высоту поперечного сечения панели в середине пролета принимают  $(\frac{1}{20} \div \frac{1}{15}) l_0$  в зависимости от величины нагрузки и пролета. Очертание верхней поверхности оболочки – по квадратной параболе, минимальная толщина  $\delta=30\text{мм}$ . Диафрагмы проектируются облегченными с вертикальными ребрами жесткости. Минимальная толщина стенки диафрагмы в пролете 40мм, а вблизи опоры 50мм. Сопряжение оболочки с диафрагмами выполняются с устройством пологих втов, уклон  $i=1/5$  (рис.2).

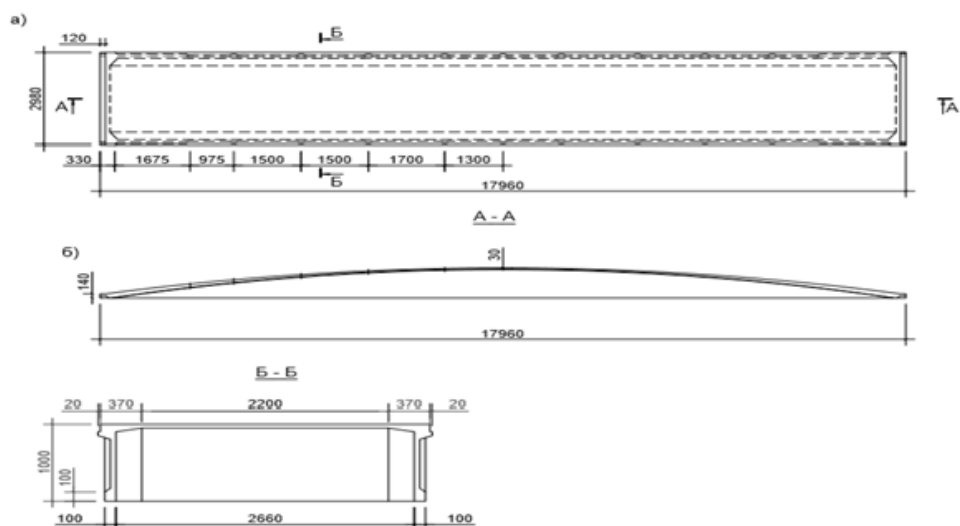


Рис. 1. Панель-оболочка КЖС 3х18  
а) панель; б) продольный и поперечный разрезы

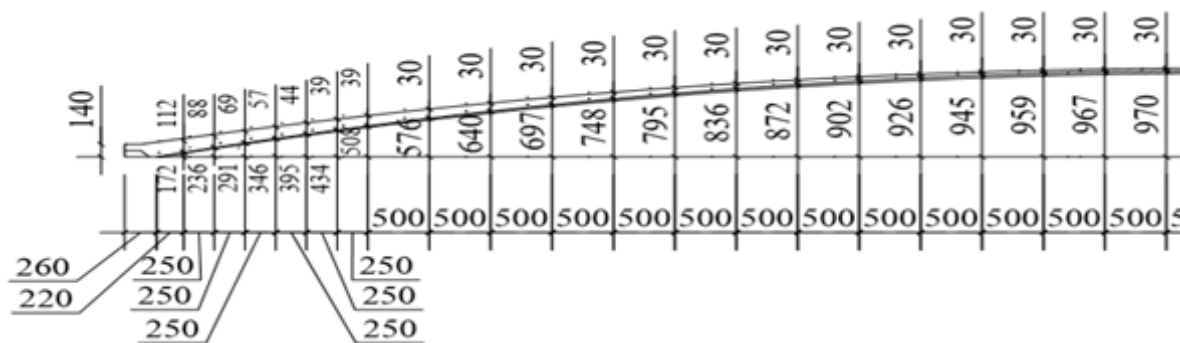


Рис. 2. Геометрические размеры панели-оболочки КЖС по образующей оболочке



Основная рабочая напрягаемая арматура располагается в нижней утолщенной зоне диафрагм. Эта арматура принимается из стержневой, проволочной, прядевой арматуры в каждом ребре.

В опорных узлах панели предусматриваются стальные анкерные детали, обеспечивающие надежное закрепление рабочей арматуры в бетоне, выполняющей роль затяжки сводчатой конструкции.

Оболочка армируется по расчету сетками рулонного типа. Площадь сечения арматуры оболочки в средней части панели должна составлять не менее: поперечной 0.3%, продольной 0.2%.

Диафрагмы армируются сварными каркасами только в приопорных зонах (длиной 0.1l<sub>0</sub> или немного больше), а в средней части стержнями-подвесками, расположенными в вертикальных ребрах. Панели типа КЖС проектируются из тяжелого бетона классов B25÷B50. Конструкция панелей позволяет устраивать в оболочке технологические отверстия диаметром 400÷1450мм, а также прямоугольные отверстия для устройства светоаэрационных или зенитных фонарей.

Исходя из заданных размеров здания в плане (54х72м), его конструктивных решений покрытия по I и II вариантам, произведен сравнительный анализ некоторых параметров вариантного проектирования, который представлен в табл. 1.

На основе сравнительного анализа параметров табл. 1 можно заключить следующее:

— расход бетона на конструкции покрытия по II-ому варианту снижается на:

$$100 - \frac{272.2 \cdot 100}{352.3} = 22.7\% \text{ за счет сокращения количества}$$

железобетонных конструкций покрытия с 255 до 72, то есть (в 3.5 раза) или на 72%;

— расход стали на конструкции покрытия по II-ому варианту снизился на:

$$100 - \frac{31680 \cdot 100}{34908} = 9.2\% ;$$

— постоянная нормативная нагрузка на покрытия по II-ому варианту снизилась на:

$$100 - \frac{3 \cdot 100}{3.75} = 20\% , \text{ что особенно важно при}$$

строительстве сейсмически опасных регионах.

Однако, следует отметить, что проектирование каркаса здания по II-ому варианту предполагает наличие подстропильных железобетонных балок размерами 0.3х0.6х5.6м, прямоугольного поперечного сечения, которые опираются на колонны каркаса, передавая нагрузку от покрытия.

Определим сроки монтажа несущих конструкций покрытия по I и II-ому вариантам с использованием установленных норм времени действующих нормативных документов, табл. 2

Таблица 1

Сравнительный анализ параметров вариантного проектирования покрытия здания «Центра по комплексному ремонту автомобилей»

№	Номенклатура конструкции покрытия	Количество шт.	Расход материалов		Постоянная нагрузка на покрытие кН/м <sup>2</sup>
			Бетон, м <sup>3</sup>	Сталь, кг	
I	Вес кровли	—	—	—	1.25
	Плиты покрытия 3х6м	216	1.07х216=231	93х216=20088	1.78
	Стропильные фермы (ФСМ18)	39	3.11х39=121.3	380х39=14820	0.72
	Итого:	255	352.3	34908	3.75
II	Вес кровли	—	—	—	1.25
	Панели-оболочки КЖС-18	72	3.78х72=272.2	440х72=31680	1.75
	Итого:	72	272.2	31680	3.0

Таблица 2

Сравнительный анализ сроков монтажа несущих конструкций покрытия здания «Центра по комплексному ремонту автомобилей»

№	Номенклатура конструкции покрытия	Норма времени на 100 шт. чел/час	Количество шт.	Срок монтажа в днях
I	Плиты покрытия 3х6м	276	216	$\frac{276 \cdot 216}{100 \cdot 8.2 \cdot 2} = 36.35$
	Стропильные фермы ФСМ18	784	39	$\frac{784 \cdot 39}{100 \cdot 8.2 \cdot 2} = 18.64$
	Итого:	—	255	55.0
II	Панели-оболочки КЖС-18	459	72	$\frac{459 \cdot 72}{100 \cdot 8.2 \cdot 2} = 20.15$
	Подстропильная балка (0.3х0.6х5.8м)	150.5	48	$\frac{150.5 \cdot 48}{100 \cdot 8.2 \cdot 2} = 4.4$
	Итого:	—	120	24.6

Примечание: здесь 8.2 час – продолжительность рабочего дня в часах; 2 – количество монтажных бригад.

Из анализа табл.2 можно отметить, что срок монтажа несущих конструкций покрытия с учетом подстропильных балок по II-ому варианту сокращается в:  $55/24.6=2.2$  раза.

Вариант II был выбран в качестве основного с расчетом и конструированием панели-оболочки типа КЖС 3х18м.

#### 4. Заключение

Оба варианта конструктивного решения покрытия промышленного здания «Центра по комплексному ремонту автомобилей» имеют право быть основными при наличии предприятий строительной индустрии с широкой номенклатурой выпускаемых конструкций и изделий, в том числе и тонкостенных плит-оболочек различных размеров: 3х12; 3х18; 3х24м. От технических, материальных и квалификационных возможностей предприятий строительной индустрии зависит все то разнообразие проектных решений промышленных зданий, которые должны отвечать техническим, эксплуатационным, экологическим, эстетическим и экономическим требованиям. С применением монолитного железобетона стальных пространственных конструкций эти возможности еще более расширяются.

#### Использованная литература / References

- [1] КМК 2.01.07-96 «Нагрузки и воздействия», Ташкент 1996 г.  
[2] ШНК 2.03.01-24 «Бетонные и ж.б. конструкции», Ташкент 2024 г.

[3] Л.В. Бочарова, И.А. Кадиров «Железобетонные конструкции», ТГТУ, Ташкент.: 2023.269 с.

[4] Щипачева Е.В. Проектирование одноэтажного производственного здания и АБК промышленного предприятия (учебное пособие) – ТаШИИТ, 2014г.

[5] В.Н. Байков Э.Е. Сигалов «Железобетонные конструкции»: Общий курс, (учебник для вузов), М.: Стройиздат 1991 г.

[6] Мандриков А.П. «Примеры расчета железобетонных конструкций», (учебное пособие), М.: Стройиздат, 1989 г., 506 с.

[7] Каталог сборных железобетонных изделий, выпускаемых предприятиями, расположенными на территории Республики Узбекистан, КСЖ 72/УЗИНТИ, Ташкент, 1979г.

[8] СРН 4.02.07-23 «Смета ресурс нормалари» Узбекистон Республикаси курилиш ва уй-жой коммунал хужалиги вазирлиги; Тошкент – 2023.

#### Информация об авторах/ Information about the authors

**Бочарова Лариса Васильевна /  
Bocharova Larisa Vasilyevna** Ташкентский государственный транспортный университет.  
к.т.н., доцент кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений»

**Мухаммадсолиев Камолiddин Акмалжон угли /  
Muhammadsoliyev Kamoliddin Akmaljon ugli** Ташкентский государственный транспортный университет.  
студент 4 курса  
E-mail: [kmuxammadsoliyev@gmail.com](mailto:kmuxammadsoliyev@gmail.com)



## Effective steel structures for industrial buildings

A.I. Kholmurodov<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Samarkand State University of Architecture and Construction, Samarkand, Uzbekistan

**Abstract:** The reforms being implemented in our republic are also rapidly developing the light steel structures sector, which is a leading sector of the construction industry. The products produced by the metallurgical plants commissioned in the last 10-12 years are producing elements necessary for the construction of modern light steel structures. At the same time, in the author's opinion, the factor hindering the widespread use of light steel structures is the lack of qualified personnel to design these structures, as well as the late publication of national standards (for LSTK) or their complete absence (for corrugated beams).

**Keywords:** steel, profile, thin-walled, corrugated beam, strength, priority, efficiency

## Ishlab chiqarish binolari uchun samarali po'lat konstruksiyalar

Xolmurodov A.I.<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Samarqand davlat arxitektura-kurilish universiteti, Samarqand, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Respublikamizda amalga oshirilayotgan islohotlar qurilish sohasining yetakchi tarmog'i bo'lgan, yengil po'lat konstruksiyalar sohasini xam jadal rivojlantirmokda. Oxirgi 10-12 yilda ishga tushirilgan metallurgiya zavodlari ishlab chiqaradigan mahsulotlar, zamonaviy yengil po'lat konstruksiya barpo qilinishi uchun zarur bo'lgan elementlar ishlab chiqmorkda. Shu bilan birga, muallif fikricha, yengil po'lat konstruksiyalarni keng qo'llanilishiga tusqinlik qiladigan omil, mazkur konstruksiyalarni loyihalovchi malakaviy kadrlarning tanqisligi, xamda, milliy me'yorlarning kech chiqarilayotganligi(LSTK) yoki umuman yuqligi(gofrli to'sinlar uchun) sabab bo'lib kelmoqda.

**Kalit so'zlar:** po'lat, profil, yupqa devorli, gofro to'sin, mustahkamlik, ustuvorlik, samaralilik

### 1. Kirish

Po'lat konstruksiyalarning bir qator afzalliklari, ya'ni yuqori darajadagi mustahkamligi, yengilligi, ishonchligi, sanoatboblari hamda zichligi ularni qurilishning barcha sohalarida qo'llash imkonini beradi. Biror-bir qurilish sohasi yo'qki po'lat qurilmaga bog'liq bo'lgan hisoblash yoki loyihalash ishlari amalga oshirilmasin. Shu bilan birga, oxirgi yillarda loyiha korxonalarida qurilish konstruksiyalarini va ayniqsa metall konstruksiyalarni loyihalovchi muhandislarga ehtiyoj yaqqol sezilmoqda.

Po'lat qimmatbaho, noyob material uni ishlab chiqarish uchun zarur bo'lgan temir ruda konlari cheksiz emas. Bu omillar o'z navbatida qurilish sohasida ishlatiladigan po'latlardan unumli foydalanishni, bino konstruksiyalarini loyihalashda samarali yechimlarni qo'llashni taqozo etadi.

Po'lat konstruksiyalarni iqtisodiy samaradorligini oshirish, barcha bosqichlarda, loyihalanishdan boshlab, binoni ekspluatatsiya bosqichiga qadar amalga oshirilishi lozim. Bunda, loyihalash alohida o'rin egallaydi, chunki bu bosqichda binoning konstruktiv shakli, konstruksiya elementlarining kesim turlari, material va h.k.z tanlanadi. Bino konstruksiyalarini tanlashda bir necha konstruktiv variantlar taqqoslanib, samrali yechim qabul qilinadi.

Po'lat yordamida barpo qilinadigan bino va inshootlarning konstruktiv shakllari turli xil bo'lishiga qaramay, tannaxrlarining tuzilishi o'zgarmaydi [6].

Po'lat yordamda qurilib, bitkazilgan bino-inshootga sarflangar mablag'ning 70-80% po'lat tashkil qiladi. Shu

uchun, bino-inshootlarga sarflanadigan po'lat miqdorini kamaytirish, dolzarb masala hisoblanadi.

Sarflanadigan po'lat xajmini tejallishida, yengil po'lat konstruksiyalar qatorida, sovuq bukilgan tug'ri burchakli profililar, yupka devorli yengil po'lat konstruksiyalar (LSTK) xamda gofr devorchali ko'shtavr kesimli elementlar alohida o'rin egallaydi.

### 2. Tadqiqot metodikasi

Mamlakatimizda amalga oshirilayotgan islohotlar qurilish sohasining yetakchi soxalaridan biri bo'lgan po'lat konstruksiyalar soxasida ham ulkan o'zgarishlarga olib kelmoqda. Qurilish sohasida ishlatiladigan po'lat konstruksiyalarning hajmi yildan yilga oshib bormoqda. Oxirgi 10-12 yillar mobaynida Respublika viloyatlarida ishga tushirilgan yirik va urta quvvatli metallurgiya zavodlari ishlab chiqarayotgan mahsulotlar yengil po'lat konstruksiyali bino va inshootlarni barpo kilishda katta imkoniyat ochib bermoqda. Mazkur metallurgiya zavodlari ishlab chikaradigan yupka devorli yengil po'lat konstruksiyalar (2017 yildan boshlab) samarali bo'lganligi tufayli, aksariyat qismi (60%) chet elga eksport qilinmoqda. Yupka devorli yengil po'lat konstruksiyalarni(LSTK) hisoblash va loyihash, [2] ananaviy konstruksiyalarni hisoblashga nisbatan ancha murakkab bo'lganligi xamda meyoriy xujatlar ishlab chiqarishga ancha kech(2024-dekabr) kiritilganligi tufayli "LSTK" nisbatan kam ko'llanib kelinmoqda. "LSTK" ni keng qo'llanilishiga to'sqinlik qiladigan asosiy sabab, mazkur konstruksiyalarni

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0000-6482-4170>



hisoblaydigan kadrlarning tanqisligi. "LSTK" hisoblashda yassi kesimlar nazariyasini qo'llash katta xatoliklarga olib keladi. "LSTK" egilishida yoki siqilishida, yupqa devorchali bo'lganligi sababli, buralib-egilish natijasida mustahkamligini yuqotadi. Shuning uchun "LSTK" bilan bog'liq bo'lgan hisob-kitoblar kesimning qutbiy geometrik xarakteristikalarini, egilish markazini va ko'ndalang kesimning samarali (redutsiv) kesimini, ya'ni ustivor qismini aniqlashni taqozo qiladi. Bundan tashqari bitta konstruksiya oraliq'ida bunday kesimlarning soni bir necha bo'lishi mumkin. Keltirilgan omillar loyihachidan materiallar karshiligi, elastiklik nazariyasi borasida chuqur bilimlarga ega bo'lishni taqozo qiladi.

Respublikamizda po'lat konstruksiyalarni rivojlanishiga sababchi bo'lgan yana bir hodisa, Samarqandda «SAMARQAND ARYA BARON» MChJ korxonasini ishga tushirilishi bo'ldi. Mazkur korxona, penopoliuritan issiqlik qatlami asosida (42 kg/m<sup>3</sup>) uta yengil «SENDVICH» panellar va gofr (to'liqsimon) devorchali ko'shtavr tusinlar ishlab chiqmoqda (Rasm.1).

Gofr devorchali tusinlar varakli po'latlarni payvandlash yordamida hosil qilinadi. Tusin tokchalarining qalinliklari odatda 6 – 30 mm, qalinliklari 2 – 3 mm, eni 160 – 400 mm qabul qilinadi. Tusin devorchasi sinus shaklida gofrlangan yupqa (2-3mm) po'lat varaqdan tayyorlanadi. Gofro to'sinlar metall konstruksiyalar sohasida «inovatsion» konstruktiv shakl hisoblanadi. Amerika hamda Yevropa davlatlarida gofro to'sinlar o'tgan asrning 70 yillaridan boshlab samarali qo'llanib kelayotgan po'lat konstruksiya turi hisoblanadi. Gofro to'sinlarning hisoblanish meyorlari asosida Yevrokod (EN 1993-1-5, Design of steel structures;) turadi.

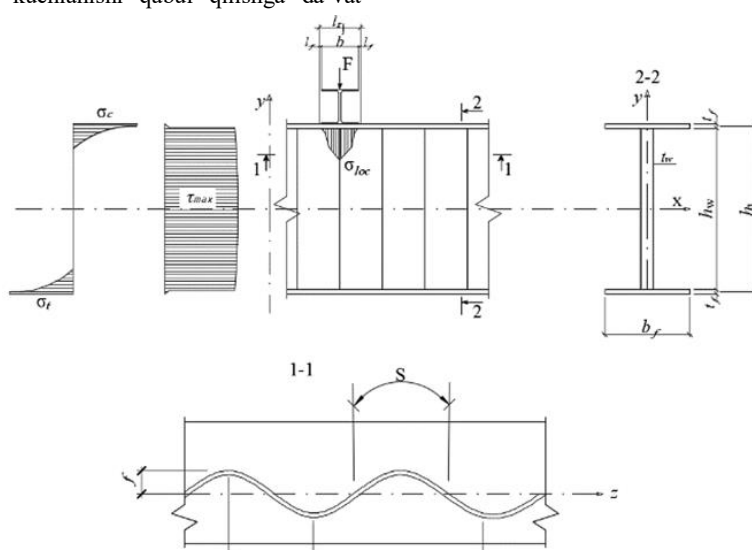
Gofra devorchali to'sinlarning ishlashi sobiq Sovet Ittifoqida hamda chet el davlatlarida o'rganilib, turli xil to'sinlar modeli sinalgan. Bunda, egilish natijasida hosil bo'ladigan normal kuchlanishlar  $\sigma_x$  to'sin devorchasining faqat tokchalarga yaqin qismlarida bo'lib va juda qisqa muddat ichida nolga tushgan, chunki gofrali devorcha ko'ndalang yo'nalishda siljishga qarshilik ko'rsata olmaydi [6]. Urinma kuchlanishlar devorcha balandligi bo'ylab tekis taqsimlanadi (rasm-2). Gofra devorchalar zo'riqishlarni to'sin tokchalarga uzatib, ularda sterjen uzunligi bo'yicha o'zgaruvchan egilish kuchlanishi qabul qilishga da'vat

qiladi. Devorchalari bir xil egiluvchanlikka ega bo'lgan, yupqa devorchali to'sin bilan gofra devorchali to'sinlar taqqoslanganida, gofra devorchali to'sin elastik bosqichda mahalliy ustuvorligini yo'qotgunga qadar uzoqroq ishlaydi. Shuningdek gofra to'sinlarda tokchalar egilishga nisbatan ishlamaganligi tufayli ularning mustahkamligi yupqa devorchali to'sinlarga nisbatan ancha yuqori bo'ladi[3].

Gofra devorchali to'sinlarning deformatsiyalanishi(solqiligi), yupqa devorchali to'sinlarga nisbatan 15-20% kichik bo'ladi. Bir qator gofra devorchali to'sinlarni loyihalab taqqoslash natijasida, yassi devorchali payvand to'sinlarga nisbatan 20-25%, yupqa devorli to'sinlarga nisbatan esa 8-10% yengil ekanligi aniqlangan.



1-rasm. Qo'shtavr devorchasini gofrlash jarayoni (Samarqand)



2-rasm. Ko'ndalang gofr devorchali qo'shtavr elementlari

An'anaviy yasama (tuzma) payvandlangan qo'shtavrlarda eguvchi momentning aksariyat (90%) qismi

qo'shtavr tokchalari tomondan qabul qilinadi. Qo'shtavr devorchasi esa asosan tokchalarni o'zaro bog'lab turib



kesuvchi kuchlarni qabul qiladi. Urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamlik sharti bajarilishi uchun, devorcha qalinligi qalin bo'lishi shart emas. Ammo devorchaning ustuvorligini ta'minlashi uchun, devorcha qalinlashtiriladi yoki ko'ndalang qobirg'alar bilan jihozlanadi. Mazkur tadbirlar qo'shtavr to'sin vaznining oshishiga olib keladi. Gofra devorchali to'sinlar bir vaqtning o'zida, mustahkamlik, ustuvorlik va tejamlilik masalalarining yechilishiga imkon beradi. Bundan tashqari, chet el hamda sobiq Sovet davlatlari olimlari tomonidan o'tkazilgan ko'plab tajribalar gofra devorchali konstruksiyalarni, oddiy to'sinlarga nisbatan seysmik kuchlarga qarshi yaxshi ishlashi ta'kidlangan (1).



**3-rasm. Samarqand tumanida barpo qilingan gofra devorchali elementlardan tashkil topgan «SENDVICH» panellar ishlab chiqarish binosi (30m)**

Gofralangan devorchali qo'shtavr to'sinlar birinchi sinf konstruksiyaga mansub bo'lib, hisoblashlar elastik bosqichda olib boriladi. To'liqsimon (sinusoidal) devorchali ko'ndalang gofrolangan qo'shtavr to'sinlarning hisobiy parametrlari quyidagicha:

$a_s$  - gofra qadami;

$h_{ef}$  - to'sin devorchasining hisobiy balandligi, payvand qo'shtavrlarda -  $h_w$ ;

$t_w$  - gofra devorchaning qalinligi;

$f$  - gofra to'liqning balandligi;

$s$  - gofra to'liqni uzunligining yarmi

$s = a_s (1 + \pi^2 \cdot f^2 / 16 a_s^2)$ ;

Gofralangan devorchaning qalinligi 1,5 mm dan kichik bo'lmashligi lozim, egiluvchanligi  $\lambda_w = 200-500$  oralig'ida, gofra panelining shartli egiluvchanligi

$$\lambda_s = s / t_w \sqrt{R_y / E} \leq 2,3.$$

Gofra parametrlari quyidagi shartlarga javob berishi kerak:

$$\tau_{p,cr} > \tau_{0,cr} \quad (1)$$

To'liq shaklidagi gofra panelining mahalliy ustuvorlik  $\tau_{p,cr}$  yo'qolishidagi kritik kuchlanish:

$$\tau_{p,cr} = 1,12 \left( 5,34 + \frac{f \cdot s}{h_w t_w} \right) \frac{R_y}{\lambda^2} \quad (2)$$

Gofra devorchaning umumiy ustuvorlik  $\tau_{0,cr}$  yo'qolishidagi kuchlanish

$$\tau_{0,cr} = 32,4 \frac{\sqrt{D_1 D_2^3}}{h_w^2 t_w}, \quad (3)$$

Bunda,  $D_1$  va  $D_2$  - bosh yo'nalishlar bo'yicha egilish bikirliklari, N·mm:

$$D_1 = \frac{E t_w^3}{12(1-\nu^2)} \frac{a_s}{s}; \quad D_2 = \frac{E J}{a_s}, \quad (4)$$

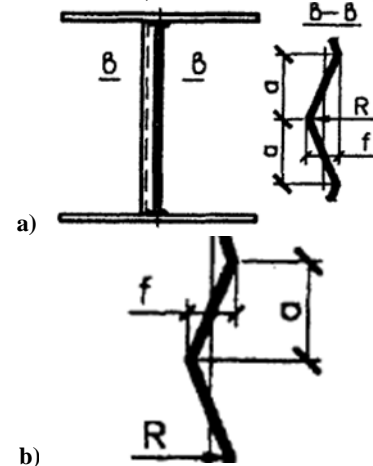
$J$  - gofra qadami ( $a_s$ ) bo'lgan devorchaning inersiya momenti.

Gorizontal seysmik kuchlarga qarshi ishlaydigan rama tarkibidagi ustunlarning konstruktiv shakllari

payvandlangan qo'shtavrli bo'lib, ular yupqa devorchali ko'ndalang va bo'ylama to'liqinli bo'lishi talab qilinadi.

Ko'ndalang gofrolangan qo'shtavr ustun devorchalarining qalinliklari  $t_w$  tegishli hisoblashlarga doir qabul qilinib, bunda quyidagi shartlar bajarilishi lozim, bunda gofralar qadami  $a \leq 60 t_w$ , gofra balandligi

$$f \geq h_w / 30 + 30 \text{ mm}, \quad h_w - \text{devorcha balandligi, mm.}$$



**4-rasm. Gofra devorchali qo'shtavrlarning konstruktiv shakllari: a- ko'ndalang gofra devorchali; b- bo'ylama gofra devorchali**

Bo'ylama gofrolangan qo'shtavr ustun devorchalarining qalinligi  $h_w$ , ustunni ustuvorlikka hisoblashda aniqlanib, bunda gofra qadami  $a \leq 30 t_w$ , balandligi  $f \leq 40$  mm, ko'ndalang diafragmalar qadami esa  $3 t_w$  dan katta bo'lmashligi kerak.

Seysmik sinchli to'sinlar, ustunlar bilan ulanish tugunlarida seysmik energiya ta'sirlarini so'ndirish xususiyatiga ega. Ko'ndalang gofrolangan qo'shtavr to'sin devorchalarining qalinliklarini belgilashda  $t_w \geq (1/100-1/120) h_w$  shart bajarilishi lozim. Ko'ndalang gofrolangan to'sin devorchalarining ustuvorligi ta'minlanishi uchun, gofralar qadami  $60 t_w$  dan katta bo'lmashligi, balandligi esa  $f \geq h_w / 30 + 30 \text{ mm}$  bo'lishi kerak. Gofra devorchali qo'shtavr to'sin tokchasining erkin (sves) o'lchami quyidagi shartni qanoatlantirishi kerak:

$$b_{ef} \leq [b_{ef}], \quad \text{bunda,} \quad b_{ef} = 0,5(b_f + 2/3 f); \quad [b_{ef}] = 0,25 t_w \sqrt{E/R_u}. \quad (5)$$

$b_f$  - tokcha eni;  $E$  - elastiklik moduli.

To'sin devorchasini, tokchaga birlashtirib turuvchi payvand choklar bir tomonlama bo'lib, choklarning qalinliklari  $1,2 t_w$  dan katta bo'lmashligi talab qilinadi.

### 3. Xulosa

Po'lat konstruksiyalar yordamida quriladigan bino-inshootlarda, an'anaviy qo'shtavrli to'sinlar o'rniga gofra devorchali to'sinlarni qo'llash, to'sinlarga sarflanadigan po'latning 20-25% tejallishiga imkon beradi.

Gofra devorchali qo'shtavr to'sinlar po'lat sarfi bo'yicha samarali bo'lishi bilan bir qatorda, seysmik ustuvorligi oddiy qo'shtavrlarga nisbatan ustun turadi.

Milliy me'yoriy hujjatlar, texnik ilg'or mamlakatlar tajribalari (Yevrokod 8;9;10) asosida, O'zbekiston hududiy sharoitlariga moslashgan xolda ishlab chiqarilib, innovatsion konstruksiyalar ishlab chiqarilishidan ortda qolmasligi lozim.

## Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] В.А. Рыбаков: Основы стрительной механики легких стальных тонкостенных конструкций. Санкт-Петербург, 2010 г.

[2] Расчет элементов из стальных холодноформованных профилей в соответствии с Еврокодом 3. УЦСС-Украинский центор стального строительства. 2015, Киев

[3] Расчет и проектирование сварных двутавровых профилей с волнистыми стенками: учеб.-метод. пособие / С. В. Кудрявцев; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017.

[4] Проектирование металлических конструкций: Спец. курс. Учеб. пособие для вузов / В. В. Бирюлев, И. И. Кошин, И. И. Крылов 1990–432 с.: ил. Металлические конструкции: учебник для студентов высших учебных заведений / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатьева и др. М.: Академия, 2006. – 688 с.

[5] Холмуродов А.И. Металл конструкциялари. (2-кисм. Ишлаб чиқариш бино конструкцияларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш). Самарқанд, 2023, 231 б.

[6] СП 16.13330.2017 Стальные конструкции (актуализированная редакция СНиП II-23–81. Стальные конструкции. Нормы проектирования).

[7] ШНК 2.03.05-23 «Стальные кнструкции. Правила проектирования» Градостроительные нормы и правила.

[8] EN 1993-1-1 Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.

## Mualliflar to‘g‘risida ma’lumot / Information about authors

**Xolmurodov Aslon Ibragimovich** Samarqand davlat arxitektura-qurilish universiteti “Qurilish muhandisligi” kafedrası dotsenti, t.f.n., (PhD), dotsent  
Email: [aslonxolmurodov51@gmail.com](mailto:aslonxolmurodov51@gmail.com)  
Tel.: +998975768887  
<https://orcid.org/0009-0000-6482-4170>



# Experimental investigation of load-bearing capacity of three-layer panels with insulation layer based on rice crete

Kh. Akramov<sup>1</sup><sup>a</sup>, J. Tokhirov<sup>1</sup><sup>b</sup>, H. Samadov<sup>1</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

## Abstract:

This article presents the results of full-scale experimental testing of wall panels based on rice crete made with rice husk as the organic filler. The panels are designed as three-layer structural elements, with rice crete forming the middle insulating layer and self-compacting lightweight reinforced concrete forming the outer structural layers. The aim of the study is to evaluate the strength, crack resistance, and deformation characteristics of such panels under static vertical load. The experimental tests were conducted on panels of actual dimensions, using standard procedures. The load-deformation behavior, crack formation, and failure mechanisms were analyzed. The results confirm the potential use of these panels in low-rise energy-efficient and earthquake-resistant buildings.

## Keywords:

energy efficient; three-layer reinforced concrete structures; concrete strength; contact interlayer; heat-insulating materials; multilayer structures; agricultural waste

## 1. Introduction

Modern construction trends are increasingly oriented towards the use of environmentally friendly, energy-efficient, and cost-effective building materials. One such promising direction is the development of lightweight concretes using agricultural waste. Rice crete, a composite made from mineral binders and organic fillers (such as wood chips, straw, or rice husk), is gaining popularity due to its good thermal insulation, lightweight, and environmental sustainability. [1-5,8]

Three-layer reinforced concrete panels are becoming a key element in modern construction due to their ability to provide high strength characteristics while reducing heat transfer. In recent years, special attention has been paid to the use of innovative materials to increase the energy efficiency of such panels. One of these materials is rice crete, which is a wood-cement composite with excellent thermal insulation properties and low density.[7]

## 2. Research methodology

Studies conducted by Ivanov I.I. and Petrov P.P. (2023) showed that rice crete significantly reduces the thermal conductivity of building elements, which is consistent with the results of foreign studies. For example, Jones and Kaplan (2021) confirmed in their study that rice crete concrete can improve the thermal characteristics of buildings with a minimal increase in their mass, which makes it an ideal material for multilayer structures.

Important foreign studies also confirm the prospects of using multilayer panels with rice crete. In the work of Fang and Wang (2020), an integrated approach to the design of three-layer reinforced concrete panels, including various insulating materials such as rice crete, was studied. Studies have shown that such panels are highly resistant to temperature fluctuations and can significantly improve the energy efficiency of buildings in various climatic conditions.[1, 9-11]

On the other hand, Sidorov A.A. and Kuznetsov V.V.

(2024) found that rice crete not only preserves, but also improves the mechanical properties of three-layer panels, especially under dynamic loads. These conclusions are supported by research by Smith and Lee (2019), which showed that rice crete panels exhibit high strength and durability, especially in earthquake-prone regions. Moreover, the work of Brown and Taylor (2020) has shown that rice crete layers can effectively resist the formation of cracks in reinforced concrete structures, which significantly increases their service life.[11-15]

Another important aspect is to take into account the climatic conditions when designing such panels. Smirnov D.D. and Lebedev E.E. (2023) noted the need for a detailed analysis of the influence of climatic conditions on the performance characteristics of panels with rice crete. These conclusions are supported by the research of Garcia and Rodriguez (2018), who analyzed the use of rice crete panels in European countries and found that this material can be successfully used in various climatic conditions, providing high energy efficiency and durability of structures.[16-20]

The hypothesis: The hypothesis of this study is that the use of rice crete concrete as a thermal insulation layer in three-layer reinforced concrete panels will significantly improve their thermal performance and at the same time preserve or improve their mechanical properties.


In accordance with the technology described above, panels of ricecrete mixture on rice husk with dimensions of 2500x400x250 mm were manufactured. The number of ricecrete mixture batches adopted for the manufacture of panels was 4. The specific pressure of panel molding was 0.26 MPa. Before testing the panels, the control destructive load was determined using the formula in accordance with paragraph 2.4.2 of GOST 8829 (Precast reinforced concrete structures and products. Test methods for assessing strength, rigidity and crack resistance).[24-27]

$$q_{cr} = \frac{c}{m} q_{cal} \quad (1)$$

where  $c$  is the coefficient taken according to Table 1 of the specified GOST as equal to 1.8.  $m$  is the coefficient of the operating conditions of the structure, taken as equal to 0.75.

$q_{pac}$  - is taken as equal to the standard value of the static component of the wind load ( $q_H^c$ ).

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3258-9249>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6740-9693>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0430-877X>





Although according to KMK 2.01.07 (Standards design. Loads and impacts) the wind load on buildings and structures should be determined as the sum of static and dynamic components, only the static component of the load was taken into account. The dynamic component caused by pulsations of the velocity pressure is taken into account only when calculating structures with a period of natural oscillations of more than 25 sec (masts, towers, chimneys, etc.) and multi-story buildings more than 40 m high, etc.

$$q_{cal} = q_n^c = q_0 k_c \quad (2)$$

According to map 3 (Zoning of the Uzbekistan territories by wind pressure) of the specified building codes, the Tashkent region belongs to region 3. Therefore, we take  $q_n^c = 0.45$  MPa,  $K = 1$ ,  $C = 1.4$ .

Thus:  $g_{pac} = 0.45 \cdot 1 \cdot 1.4 = 0.63$  MPa. Consequently, the control destructive load is equal to:

$$q_{cr} = \frac{c}{m} q_n^c = \frac{1.8}{0.75} \cdot 0.63 = 15.1 \text{ MPa} \quad (3)$$

The strength of the panels was assessed using the safety factor (C).

$$C = \frac{m \cdot q_r}{q_{cal}} \quad (4)$$

where  $m = 0.75$ ;  $q_{cal} = 15.1$  MPa;  $q_r = 41$  MPa

The purpose of the work: The purpose of this study is to develop and experimentally substantiate three-layer reinforced concrete panels using rice crete concrete as an insulating layer. As part of the work, it is planned to evaluate the effect of rice crete on the thermal and mechanical characteristics of the panels, determine the optimal parameters for their design and develop recommendations for their use in various climatic conditions.

Axes:

X-axis: Labeled as  $f$ , mm — presumably representing the deflection of the structural element in millimeters.

Y-axis: Values range from 5 to 45, with no explicit unit indicated; however, based on context, it can be assumed that the quantity represents load, possibly in kN or kgf.

Three curves are labeled as P-1, P-2, and P-3 — according to the diagram below the graph, these correspond to different measurement points for deflection along the span of the beam:

P-1 and P-3 — located at the edges of the middle span section,

P-2 — located at the center of the span.

The schematic below the graph illustrates the positioning of the displacement meters:

The beam, with a total length of  $\ell$ , is divided into four equal segments ( $\ell/4$ ).

Displacement meters are installed at positions  $\ell/4$ ,  $\ell/2$ , and  $3\ell/4$ .

The test rig for the panels is shown in Figure 50. Simultaneously with the panels, the deflection and strength characteristics of ricecrete were determined on samples manufactured simultaneously with the panels: cubes measuring  $100 \times 100 \times 100$  mm, prisms measuring  $100 \times 100 \times 400$  mm. The tests showed that the ratio of the prismatic strength to the cubic strength for ricecrete is 0.73. The initial modulus of elasticity is 680 MPa, the prismatic strength is 1.15 MPa, and the ricecrete grade is 15. The panel test results are given in Table 1.

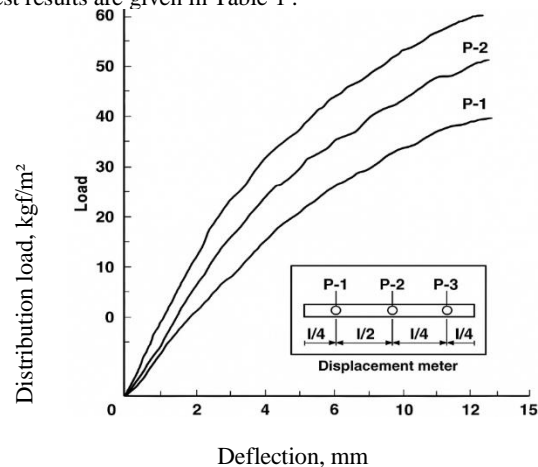


Fig. 1. Change in deflection of panel 1 due to the action of a uniformly distributed load

Table 1

Results of testing panel								
Breaking load, MPa		Safety margin $\frac{q_o}{q_k}$	Deflections ( f ) under load, mm			f / l ratio under load		
Calculation control sample ( $q_k$ )	Actual ( $q_o$ )		normative		Maxim um	normative		Maxim um
			Acceptable	actual		acceptable	actual	
13.3	36	2.7	15	1.15	13.6	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{2400}$	$\frac{1}{212}$
	44	3.3		1.51	12.4		$\frac{1}{1910}$	$\frac{1}{230}$
	44	3.3		1,12	15.3		$\frac{1}{2270}$	$\frac{1}{188}$

Tests have shown (Table 1) that the strength of the panels exceeds the calculated control values several times (from 2.7 to 3.3). Under the action of the standard load, their rigidity does not exceed the permissible value, i.e. the deflection ( $f$ ) is less than 15 mm, and the ratio of the deflection to the calculated one ( $l$ ) does not exceed  $1/200$ .

Thus, the panels meet the requirements for enclosing structures in terms of strength and rigidity and can be used as wall material. [28-30]

### 3. Conclusion

The results confirm that rice husk-based arbolite can be effectively used as an insulating core material in three-layer wall panels. The combination of arbolite and reinforced concrete layers provides both structural strength and thermal performance.

The experimental findings support the following conclusions:

- The panels demonstrated good composite behavior,



especially when anchorage and surface treatment were optimized.

- The load-bearing capacity (75–80 kN) is sufficient for low-to mid-rise buildings.
- The deflection limits were within acceptable ranges for structural wall elements.

However, certain limitations were identified:

- The interface between arbolite and concrete remains a potential weakness, requiring improved treatment methods.
- Cyclic and dynamic load testing are recommended for seismic application validation.

The study demonstrated the structural potential of three-layer wall panels using rice husk arbolite as the core layer. These panels meet basic strength and deformation criteria, offering an environmentally friendly alternative to traditional concrete walls. Their light weight and thermal insulation capacity make them suitable for energy-efficient and seismic-resistant construction.

Further research is required to optimize the interface bonding and evaluate long-term performance under environmental loads.

## References

- [1] Kuznetsov, V., et al. (2018). "Feasibility Study of Low-Cement and Cement-Free Binders for Arbolite Production." *Journal of Building Performance*, 9(2), 14-24.
- [2] Gonçalves, R. V., Oliveira, R. A., Pagnocca, F. C., & Basso, R. C. (2021). Rice Husk as a Raw Material for Development of Sustainable Composites: A Review. *Polymers*, 13(7), 1132. DOI: 10.3390/polym13071132;
- [3] de Brito, J., Antunes, M., Pereira, C., & Bravo, M. (2020). "Incorporation of Rice Husk Ash in Concrete: A Review on the Properties and Applications." *Journal of Cleaner Production*, 268, 122083. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122083.
- [4] López, O. V., García, M. A., & Villar, M. A. (2019). "Rice husk as sustainable resource for the preparation of polymeric composites: A review." *Journal of Polymers and the Environment*, 27(1), 1-13. DOI: 10.1007/s10924-019-01454-x;
- [5] Shaswat Kumar Das, Jyotirmoy Mishra, Saurabh Kumar Singh, Syed Mohammed Mustakim, Alok Patel, Sitansu Kumar Das, Umakanta Behera, Characterization and utilization of rice husk ash (RHA) in fly ash – Blast furnace slag based geopolymer concrete for sustainable future, *Materials Today: Proceedings*, Volume 33, Part 8, 2020, Pages 5162-5167, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.870>.
- [6] Ivanov, A., Petrov, B., & Smirnov, K. (2018). Arbolite materials and their applications in construction. *Journal of Construction Science*, 22(3), 134-148.
- [7] Petrov, B., & Smirnov, K. (2020). Innovations in arbolite production: A regional perspective. *Construction Materials Journal*, 28(4), 245-259.
- [8] Kuznetsova, L., & Vasiliev, N. (2017). Wood-based fillers for arbolite production. *Wood Science and Technology*, 45(2), 112-120.
- [9] Lee, J., & Choi, H. (2019). Sustainable wood waste management in the construction industry. *International Journal of Environmental Research*, 13(1), 87-99.
- [10] Miller, S., & Thompson, R. (2016). Mechanical properties of arbolite with wood fillers. *Journal of Sustainable Building Materials*, 11(2), 98-110.
- [11] Sidorov, M., Ivanova, A., & Petrenko, Y. (2019). Agricultural waste utilization in building materials. *Agricultural Engineering*, 35(1), 85-92.
- [12] Reddy, K., & Yang, J. (2018). Recycling of agricultural residues for construction materials. *Journal of Environmental Management*, 206, 503-512.
- [13] Gupta, R., & Kumar, A. (2020). Sustainable use of agricultural by-products in building materials. *Green Construction Journal*, 15(3), 213-225.
- [14] Singh, S., Singh, R., & Bedi, J. (2021). Biomass recycling in construction: An eco-friendly approach. *Renewable Resources and Building*, 29(4), 345-360.
- [15] Smith, J., et al. (2020). "Flexural Strength of Three-Layer Reinforced Concrete Panels with Flexible Links." *Journal of Structural Engineering*, vol. 146, no. 6, pp. 1-12.
- [16] Chen, L., et al. (2019). "Shear Capacity of Three-Layer Concrete Panels." *Construction and Building Materials*, vol. 202, pp. 34-45. 3, pp. 567-578.
- [17] Li, Y., et al. (2018). "Mechanical Performance of Multi-Layer Reinforced Concrete Panels." *Materials and Structures*, vol. 51, no.
- [18] Smith, J. D., & Patel, A. K. (2019). The Influence of Flexible Bonds on Reinforced Concrete Structural Panels. *Journal of Structural Engineering*, 145(12), 04019112. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002435.
- [19] Gonçalves, F., & Sousa, C. (2021). Structural Performance of Reinforced Concrete Panels with Flexible Connectors. *Construction and Building Materials*, 273, 121718. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121718.
- [20] Jones, M., et al. (2021). "Fatigue Performance of Reinforced Concrete Panels." *International Journal of Fatigue*, vol. 137, pp. 1-15.
- [21] Zhang, L., Li, Y., & Wang, X. (2021). The impact of alkaline binders on the properties of arbolite. *Journal of Material Science*, 56(8), 4567-4579.
- [22] Kumar, P., & Mehta, P. K. (2022). Impact of Flexible Bonding on the Strength of Reinforced Concrete Sandwich Panels. *Cement and Concrete Composites*, 129, 104469. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104469.
- [23] Yazdani, N., & Mirmiran, A. (2000). Effect of Interface on Flexural Behavior of Concrete-Filled FRP Tubes. *Journal of Composites for Construction*, 4(3), 147-154. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2000)4:3(147).
- [24] GOST 31310-2015 "Three-layer reinforced concrete wall panels with effective insulation. General technical specifications."
- [25] GOST 10178. Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications.
- [26] GOST 19222-2019. Arbolit and it's products. Specifications
- [27] GOST 8829-2018 "Prefabricated Reinforced Concrete and Concrete Construction Products: Methods of Load Testing. Rules for Assessing Strength, Stiffness, and Crack Resistance." Moscow: 2018 - 27 pages.
- [28] Akramov Khusnitdin Akhbarovich, Tokhirov Jaloliddin Ochil ugli, & Samadov Hamid Samandarovich. Operation of flexible links in three-layer reinforced concrete panels. // *Philosophical Readings*, XIII(4), 3276–3283. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5820497>

[29] Akramov Khusnitdin Akhroich., Tokhirov Jaloliddin Ochil ugli. (2022). ELASTIC-PLASTIC DEFORMATIONS OF ARBOLITE CONCRETE BASED ON RICE HUSK. // Philosophical Readings, XIII(4), 465–470. <https://doi.org/10.5281/zenodo.632150>

[30] Akramov Khusnitdin Akhroich., Tokhirov Jaloliddin Ochil ugli Thermal And Technical Parameters Of Especially Lightweight Concretes Based On Secondary Resources Of Agriculture // Journal of Positive School Psychology <http://journalppw.com> 2022, Vol. 6, No. 6, 7294-7300.

<https://journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/8798>

## Information about the author

**Akramov Khusnitdin** Technology of construction materials and structures, Tashkent University of architecture and civil engineering  
E-mail:

[xusnitdin.akramov48@gmail.com](mailto:xusnitdin.akramov48@gmail.com)

**Tokhirov Jaloliddin** Technology of construction materials and structures Department, Tashkent University of architecture and civil engineering

E-mail: [jaloliddin.tokhirov@gmail.com](mailto:jaloliddin.tokhirov@gmail.com)

**Samadov Homid** Technology of construction materials and structures Department, Tashkent University of architecture and civil engineering

E-mail:

[homidsamadov1996@gmail.com](mailto:homidsamadov1996@gmail.com)



# Models of deformation of main pipelines under repeated-variable loading considering material damageability

A. Abdusattarov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The formulation of the problem and the computational model of the deformation of main pipelines under repeated variable loading, taking into account the damage. Based on the theory of small elastoplastic deformations and the variational principle, systems of differential equations of motion (equilibrium) of main pipelines are obtained, and a boundary value problem is formed.

**Keywords:** variable loading; deformation; damage; variational principle; equilibrium equations

## Модели деформирования магистральных трубопроводов при повторно переменном нагружении с учетом повреждаемости материалов

Абдусаттаров А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Приводятся постановка задачи и расчетной модели деформирования магистральных трубопроводов при повторно-переменном нагружении с учетом повреждаемости. На основе теории малых упругопластических деформаций и вариационного принципа, получены системы дифференциальных уравнений движения (равновесия) магистральных трубопроводов, сформирована краевая задача.

**Ключевые слова:** переменное нагружение; деформация; повреждаемость; вариационный принцип; уравнения равновесия

### 1. Введение

В последнее время циклической прочности и надежности инженерных сооружений уделяется большое внимания, в частности для магистральных трубопроводов. Это связано с возрастающей ролью трубопроводного транспорта в снабжении народного хозяйства нефтью и газом, также значительным ростом протяженности и увеличением диаметра трубопроводов, повышением требований к охране окружающей среды. Проблема обеспечения циклической прочности и надежности магистральных трубопроводов – многоплановая актуальная задача. Исследованию и оценке прочности трубопроводов посвящено большое количество работ [1-4].

В монографии [1] содержится описание методов численного моделирования магистральных трубопроводных систем. Предложенные концепции и методы являются базовыми элементами теоретического фундамента современного компьютерного инструментария для эффективного решения широкого круга технических и технологических проблем проектирования сооружений и объектов трубопроводного транспорта. В работе [2] на основе проведенного статистического анализа причин отказов магистральных трубопроводов в зависимости от срока эксплуатации показано, что определенные дефекты укладки трубопроводов могут инициировать разрушение даже после длительной эксплуатации, когда деградация металла достигает определенного уровня. Для испытания элементов трубы в условиях,

$$\bar{u}_i^{(n)} = (-1)^n (u_i^{(n-1)} - u_i^{(n)}), \bar{e}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (e_{ij}^{(n-1)} - e_{ij}^{(n)}), \bar{\sigma}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (\sigma_{ij}^{(n-1)} - \sigma_{ij}^{(n)}) \quad (1)$$

максимально приближенных к реальным (циклически изменяющиеся напряжения), сконструирована и изготовлена установка. Разработана математическая модель НДС трубопровода, позволяющая исследовать влияние эксплуатационных нагрузок на характеристики прочности и устойчивости трубопровода. В работе [3] исследовано влияние асимметрии циклов нестационарного нагружения на интенсивность накопления рассеянной поврежденности в стенке магистральных трубопроводов (газопроводов), выполненных из стали. Так же анализировались разрушения газопроводных труб в коррозионно-активной среде при длительной эксплуатации. В работе [4] сформулирована геометрически нелинейная постановка задачи о напряженно - деформированном состоянии трубопроводов, проложенных в сложных инженерно - геологических условиях.

**Литературный анализ.** В данной статье сформулирована постановка задачи и расчетная модель деформирования магистральных трубопроводов при повторно-переменном нагружении на основе теории малых упругопластических деформаций и уточненной теории стержней [5-7].

### 2. Методология исследования

Приведём расчётные модели деформирования магистрального трубопровода при воздействии внешних повторно+переменных нагружений. Следуя теории [8], введем разности





Согласно статическим гипотезам, выражения для перемещения точек магистральных трубопровода при переменном нагружении представим в виде аналогично, как в работе [7]:

$$\begin{aligned}\bar{U}_1^{(n)} &= \bar{u}^{(n)} - y\bar{\alpha}_1^{(n)} - z\bar{\alpha}_2^{(n)} + \phi\bar{v}^{(n)} + a_1\bar{\beta}_1^{(n)} + a_2\bar{\beta}_2^{(n)}, \\ \bar{U}_2^{(n)} &= \bar{v}^{(n)} - z\bar{\theta}^{(n)}, \bar{U}_3^{(n)} = \bar{w}^{(n)} + y\bar{\theta}^{(n)},\end{aligned}\quad (2)$$

где  $\bar{\alpha}_1^{(n)}, \bar{\alpha}_2^{(n)}$  – углы поворота сечения при чистом изгибе при  $n$  ном нагружении;  $\bar{\beta}_1^{(n)}, \bar{\beta}_2^{(n)}$  – углы поперечного сдвига;  $\bar{\theta}^{(n)}$  – угол кручения;  $\bar{v}_1^{(n)}$  – погонная закрутка при  $n$ -ном нагружении;  $\phi$  – функция

кручения Сен-Венана. С учетом формулы Коши определены компоненты деформации. При повторно-переменном нагружении компоненты напряжений и деформаций при  $n$ -ном нагружении связаны следующим образом [9]:

$$\sigma_{11}^{(n)} = 3G \left\{ e_{11}^{(n)} - \left[ \omega^{(n)} e_{11}^{*(n)} + \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \bar{e}_{11}^{0(n-m)} \right] \right\}, \sigma_{21}^{(n)} = G \left\{ e_{21}^{(n)} - \omega^{(n)} e_{21}^{*(n)} - \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \bar{e}_{21}^{0(n-m)} \right\}. \quad (3)$$

При линейном упрочнении материала функция пластичности имеет вид

$$\omega^{(n)} = \begin{cases} 0, \text{ при } \bar{\epsilon}_u^{(n)} \leq \bar{\epsilon}_s^{(n)}(\eta), \\ \lambda_n \left[ 1 - \frac{\bar{\epsilon}_s^{(n)}(\eta)}{\bar{\epsilon}_u^{(n)}} \right], \text{ при } \bar{\epsilon}_u^{(n)} > \bar{\epsilon}_s^{(n)}(\eta). \end{cases}$$

В случае обобщенного принципа Мазинга  $\lambda_n = \tilde{\lambda}$ ,  $\bar{\epsilon}_u^{(n)} = \alpha_n \epsilon_s$ , а при учете накопления повреждений:

$$\bar{\epsilon}_s^{(n)}(\eta) = \tilde{\alpha}_n \epsilon_s + (3G)^{-1} B^{1/\alpha} \cdot [1 - 0,5\tilde{\alpha}_n][1 - (1 - \eta)^{1+\alpha}]^{1/\alpha} (n-1)^{-1/\alpha}.$$

Функция повреждаемости  $\eta(n)$  определяется из кинетического уравнения [8]:

$$\frac{d\eta}{d\lambda} = f(\bar{\sigma}_u^{(n)}, \eta_n); \quad f = A \frac{(\bar{\sigma}_u^{(n)})^\alpha}{(1 - \gamma_1 \eta_n)^\beta} \quad (4)$$

при условиях  $\eta(0)=0$ ,  $\eta(\lambda_N)=1$ , где  $\lambda_N$  – число полуциклов нагружения.

**Вывод уравнения движения.** Для определения уравнения движения (равновесия) магистрального

трубопровода при повторно-переменном нагружении с учетом упругопластических деформаций и повреждаемости использован вариационный принцип Гамильтона – Остроградского [7]:

$$\delta \int_t (T^{(n)} - \Pi^{(n)} + A^{(n)}) dt = 0 \quad (5)$$

$$\text{где } \delta \int_t T^{(n)} dt = \int_x \tilde{A} \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial t} E \delta Y^{(n)} dx \Big|_t - \int_t \int_x \tilde{A} \frac{\partial^2 Y^{(n)}}{\partial t^2} E \delta Y^{(n)} dx dt; \quad (6)$$

$$\delta \int_t \Pi^{(n)} dt = \int_t \left\{ (A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)} \right\} E \delta Y^{(n)} dt \Big|_x + \int_t \int_x \left\{ \frac{\partial}{\partial x} ((A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)}) + (C^{yn} - C^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (D^{yn} - D^{nl}) Y^{(n)} \right\} E \delta Y^{(n)} dx dt; \quad (7)$$

$$\delta \int_t A^{(n)} dt = \int_t Q^{cp} \delta y dt \Big|_x + \int_t \int_x Q^n \delta y dx dt \quad (8)$$

Подставляя векторные выражения вариации кинетической, потенциальной энергий и работы внешних сил (6)–(8) в вариационный принцип (5), получим:

$$\begin{aligned} & \int_t \int_x \left\{ \tilde{A} \frac{\partial^2 Y^{(n)}}{\partial t^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ (A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)} \right] + \right. \\ & \quad \left. + (C^{yn} - C^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (D^{yn} - D^{nl}) Y^{(n)} + Q^{I(n)} \right\} E \delta Y^{(n)} dx dt + \\ & + \int_t \left\{ (A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)} + Q^{I(n)} \right\} E \delta Y^{(n)} dt \Big|_x + \int_x \tilde{A} \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial t} E \delta Y^{(n)} dx \Big|_t = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Из этого уравнений вытекает следующую краевую задачу:

$$\begin{aligned} & \tilde{A} \frac{\partial^2 Y^{(n)}}{\partial t^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ (A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)} \right] + (C^{yn} - C^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (D^{yn} - D^{nl}) Y^{(n)} + Q^n = 0. \\ & \left\{ (A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y + Q^{cp} \right\} \delta Y \Big|_x = 0; \quad \tilde{A} \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial t} E \delta Y^{(n)} \Big|_t = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь матрицы  $A, B, C, D$  – квадратичные матрицы девятого порядка,  $Q^n$  и  $Q^{cp}$  векторы внешних сил девятого порядка и коэффициенты имеют следующий вид:

$$(a_{ij} = a_{ij}^{yn} - a_{ij}^{nl(n)}, \quad b_{ij} = b_{ij}^{yn} - b_{ij}^{nl(n)}, \quad c_{ij} = -b_{ij}, \quad d_{ij} = a_{ij}^{yn} - d_{ij}^{nl(n)}).$$

Из вариационных уравнений (10) получена система дифференциальных уравнений равновесия магистрального трубопровода при повторно-переменном нагружении с соответствующими

граничными условиями в векторной форме. После применения метода конечных разностей они примут вид:

$$\begin{aligned} & (A_i^{yn} - A_i^{nl(k)}) \vec{V}_{i+1}^{(k)} - (B_i^{yn} - B_i^{nl(k)}) \vec{V}_i^{(k)} + (C_i^{yn} - C_i^{nl(k)}) \vec{V}_i^{(k)} = \vec{Q}_i^{(k)} + \vec{Q}_i^{nl} + \vec{Q}^{nl0}, \\ & \left[ (A^{yn} - A^{nl(k)}) \frac{d\vec{V}^{(k)}}{dx} + (B^{yn} - B^{nl(k)}) \vec{V}^{(k)} \right] \Big|_\Gamma = \vec{F}^{(k)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для решения нелинейных краевых задач используются метод упругих решений А. А. Ильюшина [5] и метод матричной прогонки [9]. В результате имеем

следующие рекуррентные соотношения:

$$\delta \Pi = \int_v \sum_{i=1}^3 \sigma_{ij} \delta e_{ij} dv = \int_v [\sigma_{\alpha\alpha} \delta e_{\alpha\alpha} + \sigma_{\beta\beta} \delta e_{\beta\beta} +$$



$$\begin{aligned} & \sigma_{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dv \quad \delta \Pi = \int_V \int_\beta \left\{ \sigma_{\alpha\alpha} \delta \left[ u - (r-1) \frac{\partial w}{\partial \alpha} \right] + \right. \\ & \quad \left. \sigma_{\alpha\beta} \delta \left[ rv - (r-1) \frac{\partial w}{\partial \beta} \right] \right\} |\alpha r d\beta d\gamma + \\ & + \int_V \int_\alpha \left\{ \sigma_{\beta\beta} \frac{1}{r} \delta \left[ rv - (r-1) \frac{\partial w}{\partial \beta} \right] + \right. \\ & \quad \left. + \sigma_{\alpha\beta} \frac{1}{r} \delta \left[ u - (r-1) \frac{\partial w}{\partial \alpha} \right] \right\} |\beta d\alpha d\gamma \\ & - \int_V \left[ \left( \frac{\partial \sigma_{\alpha\alpha}}{\partial \alpha} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{\alpha\beta}}{\partial \beta} \right) \delta \left[ u - (r-1) \frac{\partial w}{\partial \alpha} \right] + \right. \\ & \quad \left. + \left( \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{\beta\beta}}{\partial \beta} + \frac{\partial \sigma_{\alpha\beta}}{\partial \alpha} \right) \delta \left[ rv - (r-1) \frac{\partial w}{\partial \beta} \right] - \frac{1}{r} \sigma_{\beta\beta} \delta w \right] dv \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \text{Здесь} \quad \gamma; \quad \delta A = \\ & \int_V \sum_{i=1}^3 X_i \delta u_i dv + \int_\beta \sum_{i=1}^3 \phi_i \delta u_i d\beta d\alpha + \\ & + \int_\alpha \sum_{i=1}^3 P_i \delta u_i |\beta d\alpha d\gamma + \int_\beta \sum_{i=1}^3 q_i \delta u_i |\alpha d\beta d\gamma; \\ & \delta A = \int_\beta \int_\alpha \int_\gamma \left[ X_1 \delta w + X_2 \delta \left( rv - (r-1) \frac{\partial w}{\partial \beta} \right) + X_3 \delta \left( u - \right. \right. \\ & \left. \left. (r-1) \frac{\partial w}{\partial \alpha} \right) \right] d\alpha d\beta d\gamma + \end{aligned}$$

На основе приведенных алгоритмов решен ряд задач

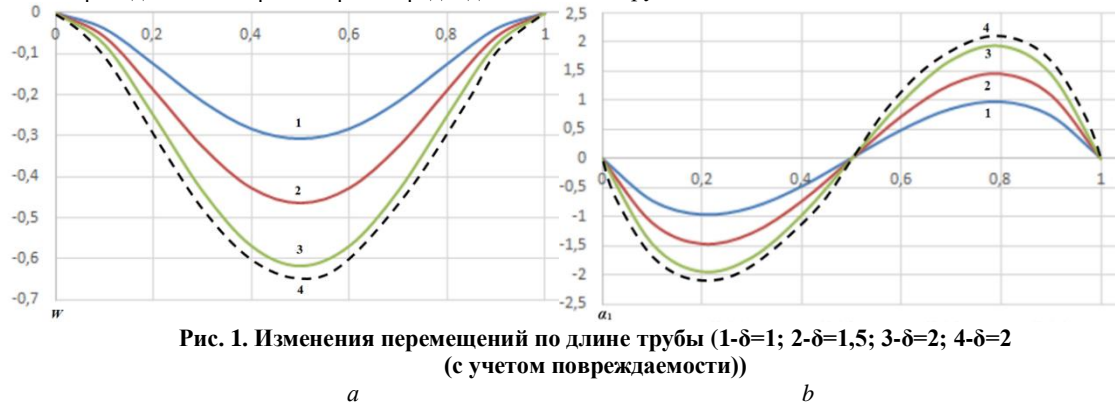


Рис. 1. Изменения перемещений по длине трубы (1- $\delta=1$ ; 2- $\delta=1,5$ ; 3- $\delta=2$ ; 4- $\delta=2$  (с учетом повреждаемости))

Анализ численного эксперимента показывает, что с увеличением числа циклов нагружения изменяются значения функции пластичности и повреждаемости, а также показано влияние этих параметров на кинетику напряженно-деформированного состояния трубопровода [10-12].

### 3. Заключение

Сформулирована постановка задачи и составлена расчетная схема магистральных трубопроводов при повторном - переменном нагружении на основе теории малых упругопластических деформаций и уточненной теории стержней. Разработана методика решения задач с учетом вторичных пластических деформаций и накопления повреждений. Приведены результаты расчета перемещений при различных нагрузках.

### Использованная литература / References

- [1] Селезнев В.Е., Алешин В.В., Прялов С.Н. Основы численного моделирования магистральных трубопроводов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: МАКС Пресс. – 2009. – 436 с.
- [2] Чичелов В.А. Научно-практические основы обеспечения прочности и устойчивости газопроводов в

для анализа НДС трубопроводов при повторно-переменном нагружении. В частности, при отсутствии кручения и поперечного сдвига ( $\theta=0$ ,  $v=0$ ,  $\beta_1=0$ ,  $\beta_2=0$ ).

**Пример расчета.** В качестве примера приведены результаты расчета тонкостенного трубопровода, заземленного по торцам при повторно-переменном нагружении с учетом накопления повреждений. За кинетическое уравнение принято формула (4).

Задача решена при следующих исходных данных: материальные константы кинетического уравнения повреждаемости:  $A=1.2 \cdot 10^{-4}$ ;  $\alpha=\beta=5$ ;  $\gamma_1=0.8$ ;  $r=1.2$ ;  $\alpha_1=0.97$ ;  $B=1.4 \cdot 10^3$ ;  $\varepsilon_s=0.0015$ . За внешнюю нагрузку приняты следующие значения:  $f_0^+ = 25$ ;  $f_0^- = 50$ ;  $\tilde{f}_0^+ = 10$ ;  $\tilde{f}_0^- = 5$ ; (кг/см<sup>2</sup>);  $\alpha = \pi/3$ ;  $\alpha^* = \pi/2$ ;  $\gamma = \pi/4$ ;  $\gamma^* = \pi/6$ . Численные результаты вектора перемещений в зависимости от числа итераций  $\gamma$  и числа циклов  $k$  (при  $N=40$ ,  $k=2$  и  $k=10$ ) приводятся с использованием обобщенного принципа Мазинга. Для иллюстрации на рис.1 показаны изменения перемещений  $W^{(k)}$ ,  $\alpha_1^{(k)}$  по длине трубопровода, при различных интенсивности нагрузки  $\delta$ .

сложных инженерно-геологических условиях: Автореф. дис... докт. техн. наук. – Уфа. – 2007. – 47 с.

[3] Зорин Н.Е. Экспериментальная оценка работоспособности труб магистральных газопроводов при циклическом нагружении: Автореф. дис.... канд. техн. наук. – М. – 2010. – 23 с.

[4] Зарипов Р.М. Научные основы расчета напряженно-деформированного состояния трубопроводов, проложенных в сложных инженерно-геологических условиях: Дис... докт. техн. наук. – Уфа. – 2005. – 344 с.

[5] Ильюшин А.А. Труды. Пластичность. –М.: Логос. –2004. – 388 с.

[6] Власов В.З. Избранные труды. М.: Наука. 1962-1964. Том I-III 1506 с.

[7] Кабулов В.К. Алгоритмизация в теории упругости и деформационной теории пластичности. – Ташкент: Фан, – 1966. – 394 с.

[8] Москвитин В.В. Циклические нагружения элементов конструкций. – М.: URSS. – 2019. – 344 с. (переизд).

[9] Буриев Т. Алгоритмизация расчета несущих элементов тонкостенных конструкций. – Ташкент: Фан. – 1986. – 244 с.

[10] Абдусаттаров А., Рузиева Н.Б. Нелинейное деформирование подземных трубопроводов при циклическом нагружении //Проблемы безопасности на транспорте. Материалы XI Междунар. науч. – практ. конференции. Гомель: БелГУТ. – 2021. Ч.2. – С.113–114.

[11] Abdusattarov A., Sabirov N., Ruzieva N. Mathematical models of pipeline deformation under repeated - variable loading taking into account damageability. Cite as: AIP Conference Proceedings 2637, 030014 (2022); Published Online: 20 October 2022. <https://doi.org/10.1063/5.0121481>.

[12] Abdusattarov A., Ruzieva N., Sabirov N. and Abdukadirov F. Mathematical models of deformation of underground pipelines interacting with the ground under spatial-variable loading. AIP Conference Proceedings 2612, 040015-1 - 040015-14, –2023. 10.1063/5.0116043.

## Информация об авторах/ Information about the authors

Абдусаттаров А. Ташкентский государственный  
транспортный университет



## Calculation of a steel prestressed truss with a span of 60 m, taking into account seismic impacts

G.S. Fridman<sup>1</sup><sup>a</sup>, Sh.M. Turakulova<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering, Samarkand, Uzbekistan

**Abstract:** In this paper, calculations of a steel roof truss with prestressed puffs with a span of 60 m are presented. The calculations were performed in a geometrically nonlinear formulation in the LIRA CAD 2022 software package. The method of "engineering nonlinearity" was used to account for the vertical seismic load. It shows a significant increase in the rigidity of the truss and significant savings in steel due to the use of high-strength puffs.

**Keywords:** steel truss, tightening, prestressing, geometric nonlinearity, seismic load, engineering nonlinearity

## Расчет стальной предварительно напряженной фермы пролетом 60 м с учетом сейсмических воздействий

Хальфин Г.Р.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Туракулова Ш.М.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет, Самарканд, Узбекистан

**Аннотация:** В настоящей работе приводятся расчеты стальной стропильной фермы покрытия с предварительно напряженными затяжками пролетом 60 м. Расчеты выполнены в геометрически нелинейной постановке в программном комплексе ЛИРА САПР 2022. Для учета вертикальной сейсмической нагрузки использован метод «инженерной нелинейности». Показано значительное повышение жесткости фермы и существенная экономия стали на нее за счет использования высокопрочных затяжек.

**Ключевые слова:** стальная ферма, затяжка, предварительное напряжение, геометрическая нелинейность, сейсмическая нагрузка, инженерная нелинейность

### 1. Введение

Предварительное напряжение в металлических конструкциях осуществляется с целью повышения их несущей способности и жесткости. Расход стали при этом снижается за счет применения затяжек из высокопрочных материалов (стальные канаты, пучки проволочки и др.) [1].

Компьютерное проектирование предварительно напряженных конструкций в ПК ЛИРА САПР имеет следующие особенности [2]:

1. Для моделирования предварительно напряженной затяжки используется геометрически нелинейный конечный элемент КЭ-308 (форкопф).

2. Расчет конструкций следует выполнять в геометрически нелинейной постановке, задавая вместо РСУ истории загрузений.

В статье [3] показан детальный расчет фермы типа «арка с затяжкой» пролетом 36 м на статические нагрузки. В настоящей работе приводится аналогичный расчет фермы пролетом 60 м с выносной затяжкой при дополнительном учете вертикальной сейсмической нагрузки. При этом используется обоснованный в [4] метод «инженерной нелинейности», позволяющий использовать спектральный подход для определения сейсмических нагрузок в нелинейных задачах.

### 2. Методология исследования


Стропильная стальная ферма – это плоская стержневая конструкция покрытия здания. В данном случае исследуется ферма для покрытия большепролетного здания (60 м) гражданского или промышленного назначения. Для расчета такой фермы будем использовать конечно-элементное моделирование в программном комплексе ЛИРА САПР 2022. Для создания расчетной схемы, а также расчета и анализа результатов используем встроенные средства этой системы.

Ферма состоит из жесткой части с элементами из прокатных или гнутых профилей и двух выносных затяжек из высокопрочных стальных канатов. Жесткие элементы моделируются конечными элементами плоской рамы – КЭ-2. Моделирование затяжек осуществляется геометрически нелинейными конечными элементами для создания предварительного напряжения – КЭ-308 (форкопф).

Наличие нелинейных элементов в конструкции требует ее нелинейного расчета. Это означает использование шагово-итерационного метода расчета с заданием историй (последовательностей) загрузки. При этом в варианте конструирования задается подбор сечений элементов по усилиям.

Основные нагрузки для такой фермы – это

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0008-7327-1991>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0006-4557-1319>





собственный вес покрытия и снег. Кроме того, для фермы такого пролета обязателен учет вертикальной сейсмической нагрузки. Дополнительная нагрузка от предварительного напряжения затяжек создается на стадии монтажа конструкции с целью повышения ее жесткости и снижения металлоемкости.

В соответствии с методом инженерной нелинейности расчет конструкции произведем в два этапа:

1. Линейный расчет фермы без затяжек на статические и сейсмические нагрузки; это необходимо для первоначального подбора сечений, а также определения динамических характеристик конструкции.

2. Нелинейный расчет предварительно напряженной фермы с затяжками на нагрузки как в стадии монтажа, так и в стадии эксплуатации. При этом используется квазистатическое нагружение мнерционными сейсмическими нагрузками, найденными в п.1. Далее можно определить эффект от предварительного напряжения затяжек.

### 2.1. Исходные данные задачи

Стропильная ферма прямоугольного очертания имеет пролет 60 м; шаг ферм – 6 м. Высота фермы составляет 5 м ( $L/12$ ) при длине панели верхнего пояса 3 м, решетка фермы – шпренгельная.

Сечения стержней жесткой части фермы приняты из замкнутых гнутосварных профилей (ГСП), материал этой части фермы – сталь класса С255. Затяжки выполнены из каната марки ЛК-3 6х25(1+6, 6+12)+7х7(1+6); диаметр каната предварительно прием равным 42 мм.

Постоянная нагрузка принята от утепленной кровли на основе стального профилированного настила и собственного веса металлоконструкций. Кроме того, на нижние пояса опираются коммуникации и конструкции подвесного потолка – эту нагрузку будем считать равномерно-распределенной. Район строительства – г. Самарканд.

### 2.2. Определение нагрузок, действующих на ферму

**Постоянная нагрузка.** Расчетную нагрузку от веса покрытия (включая вес ферм со связями) примем равной  $q_n = 1,5 \text{ кН/м}^2$ . Узловые нагрузки на средние и крайние узлы верхнего пояса равны:

$$P_{нк1} = q_n \cdot B \cdot d = 1,5 \cdot 6 \cdot 3 = 27 \text{ кН}; P_{нк2} = P_{нк1}/2 = 13,5 \text{ кН}.$$

Здесь  $B$  – шаг ферм,  $d$  – длина панели верхнего пояса. Расчетная нагрузка от подвесного потолка и коммуникаций равна  $0,8 \text{ кН/м}^2$ . Тогда нагрузки на узлы нижнего пояса будут равны:

$$P_{nn} = 0,8 \cdot 6 \cdot 6 = 28,8 \text{ кН/м}.$$

**Снеговая нагрузка.** Нормативная нагрузка для г. Самарканда равна  $0,5 \text{ кН/м}^2$ , расчетная нагрузка  $0,5 \cdot 1,4 = 0,7 \text{ кН/м}^2$ . Узловые нагрузки на средние и крайние узлы верхнего пояса равны:

$$P_{сн1} = 0,7 \cdot 6 \cdot 3 = 12,6 \text{ кН}; P_{сн2} = P_{сн1}/2 = 6,3 \text{ кН}.$$

**Сейсмическая нагрузка.**

При определении вертикальных узловых масс постоянная нагрузка принимается с коэффициентом 0,9, а снеговая нагрузка – с коэффициентом 0,5.

Для средних и крайних узлов верхнего пояса будем иметь:

$$P_{смв1} = 0,9 \cdot P_{нк1} + 0,5 \cdot P_{сн1} = 0,9 \cdot 27 + 0,5 \cdot 12,6 = 30,6 \text{ кН};$$

$$P_{смв2} = P_{смв1}/2 = 15,3 \text{ кН}.$$

Для узлов нижнего пояса будем иметь:

$$P_{смн1} = 0,9 \cdot P_{nn} = 0,9 \cdot 28,8 = 25,92 \text{ кН}.$$

Нагрузка от предварительного напряжения затяжек учитывается дополнительно в отдельном нагружении.

## 3. Расчет и анализ результатов

### 3.1. Расчет фермы без предварительного напряжения

По аналогии с [3] в приложении ПК ЛИРА САПР создадим файл задачи, приняв для него 2-ой признак системы (плоская рама). Далее введем расчетную схему фермы, принимая для всех стержней тип конечного элемента КЭ-2 (рисунок 1). Полученная схема показана на рисунке 1.

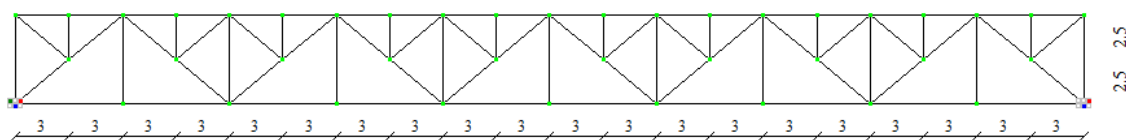


Рис. 1. Схема фермы пролетом 60 м

Далее введем типы жесткости стержней и параметры конструирования. Будем считать, что все узлы фермы закреплены из ее плоскости связями покрытия.

Указанные параметры для левой половины показаны на рисунке 2.

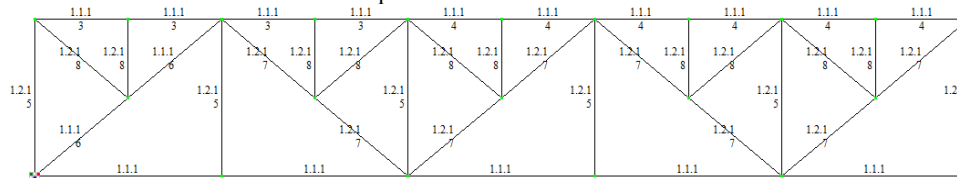


Рис. 2. Типы жесткости стержней и параметры конструирования

Введем узловые нагрузки нагружения 1 (постоянная нагрузка), нагружения 2 (снеговая нагрузка), и нагружения 3 (сейсмическая нагрузка). Зададим параметры РСУ для основных и особых сочетаний нагрузок, а для нагружения 3 – параметры динамического нагружения для 8-балльной зоны г.

Самарканда. Зададим также предельные неупругие деформации равными 10.

Выполним расчет, заменим принятые сечения стержней на подобранные, и повторим расчет. Окончательные результаты подбора сечений приведены на рисунке 3 (сечения полностью совпадают).



Подобранные сечения (Металл)																																							
<div> <div> <div>Схема</div> <div>Основная схема</div> </div> <div> <div>Показать</div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> </div>																																							
Текущие сечения		Подобранные сечения																																					
<div> <div>0</div> <div>1. Прямоугольная труба 160</div> <div>0</div> <div>2. Прямоугольная труба 180</div> <div>0</div> <div>3. Прямоугольная труба 180</div> <div>0</div> <div>4. Прямоугольная труба 200</div> <div>0</div> <div>5. Прямоугольная труба 100</div> <div>0</div> <div>6. Прямоугольная труба 160</div> <div>0</div> <div>7. Прямоугольная труба 140</div> <div>0</div> <div>8. Прямоугольная труба 50 x</div> </div>		<table> <tr> <th>#</th><th>Профиль</th><th>Металл</th><th>*</th></tr> <tr><td>1</td><td>Гн. 160 x 4</td><td>C255</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>Гн. 180 x 10</td><td>C255</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>Гн. 180 x 7</td><td>C255</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>Гн. 200 x 10</td><td>C255</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>Гн. 100 x 3</td><td>C255</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>Гн. 160 x 6</td><td>C255</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>Гн. 140 x 5</td><td>C255</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>Гн. 50 x 2.5</td><td>C255</td><td></td></tr> </table>		#	Профиль	Металл	*	1	Гн. 160 x 4	C255		2	Гн. 180 x 10	C255		3	Гн. 180 x 7	C255		4	Гн. 200 x 10	C255		5	Гн. 100 x 3	C255		6	Гн. 160 x 6	C255		7	Гн. 140 x 5	C255		8	Гн. 50 x 2.5	C255	
#	Профиль	Металл	*																																				
1	Гн. 160 x 4	C255																																					
2	Гн. 180 x 10	C255																																					
3	Гн. 180 x 7	C255																																					
4	Гн. 200 x 10	C255																																					
5	Гн. 100 x 3	C255																																					
6	Гн. 160 x 6	C255																																					
7	Гн. 140 x 5	C255																																					
8	Гн. 50 x 2.5	C255																																					

Рис. 3. Принятые и подобранные сечения стержней

По результатам расчета значимыми оказались три формы собственных колебаний конструкции – 1,3,5. В качестве иллюстрации на рисунке 4 приведена

деформированная схема фермы от 3-й формы колебаний.

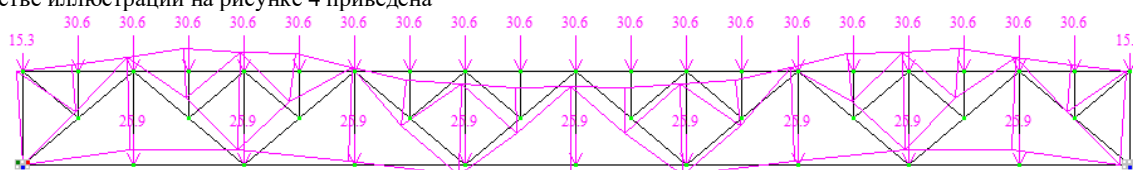


Рис. 4. Деформированная схема фермы от динамического нагружения (форма 3)

Динамические характеристики конструкции (периоды собственных колебаний и модальные массы) приведены в таблице 1. Суммарная модальная масса составляет 96,1%, что означает достаточную точность расчетов.

Для верхних узлов левой половины фермы инерционные нагрузки приведены в таблице 2 (вычисления выполнены в программе Microsoft Excel).

Аналогично найдем значения инерционных нагрузок для нижних узлов (таблица 3).

Таблица 1

№ загруз.	№ формы	Период сек	Модальная масса, %
3	1	0,768	83,630
3	3	0,162	7,309
3	5	0,089	5,164
Итого:			96,104

Для расчета предварительно напряженной фермы в соответствии с методом инженерной нелинейности понадобятся статические инерционные воздействия от сейсмического нагружения. Результирующие инерционные нагрузки определяют по формуле:

$$S_p = \sqrt{\sum S_i^2},$$

где  $S_i$  – инерционная нагрузка в узле от  $i$ -той формы колебаний.

Таблица 2

№ узла	Инерционные нагрузки, кН			
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_p$
2	0,002	-0,036	-0,641	0,64
4	-1,568	-1,638	-6,759	7,13
6	-3,366	-3,229	-3,875	6,06
8	-5,141	-5,379	-1,429	7,58
10	-6,254	-4,705	1,309	7,94
12	-7,350	-4,169	4,328	9,49
14	-8,360	-0,950	2,398	8,75
16	-9,383	2,059	1,234	9,68
18	-9,826	3,024	-0,481	10,29
20	-10,228	4,015	-2,314	11,23
22	-10,221	3,677	-1,927	11,03

Таблица 3

Нагрузки для нижних узлов

№ узла	Инерционные нагрузки, кН			
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_p$
5	-2,859	-2,977	-4,524	6,124
9	-5,253	-3,210	0,346	6,166
13	-7,106	-0,875	2,794	7,686
17	-8,253	2,065	-0,120	8,508
21	-8,689	3,390	-2,248	9,594

Теоретическую массу фермы получим, суммируя нагрузку от ее собственного веса в ЛИРА САПР. В данном случае она равна 7765 кг.

Проверим прогиб фермы от нагружений 1, 2 и 3 (форма 1):

$$f = 17,30 + 5,26 + 4,91 = 27,47 \text{ см} > [f] = L/400 = 60 \cdot 100 / 400 = 15 \text{ см}.$$

Проверка не выполняется, так что жесткость фермы недостаточна. Но окончательный вывод о жесткости сделаем после расчета предварительно напряженной фермы.

### 3.2. Расчет предварительно напряженной фермы

За основу возьмем файл предыдущей задачи, сохраним его под другим именем. Введем дополнительные стержни: опорную стойку длиной 2,5 м и две симметричные затяжки, зададим для них сечения, введем параметры конструирования. Заменяем тип конечного элемента затяжек на КЭ-308.

Схема фермы с затяжками показана на рисунке 5.

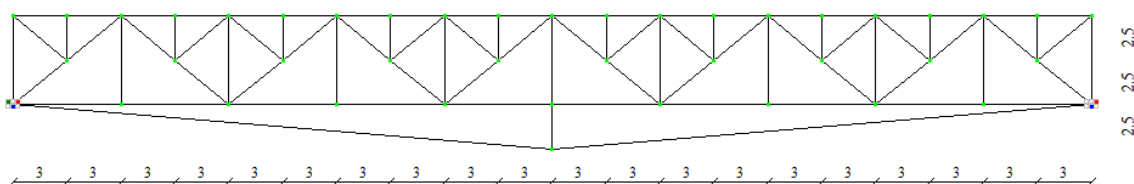


Рис. 5. Схема фермы с затяжкой

В данном случае целесообразно производить предварительное напряжение затяжек после приложения постоянной нагрузки. В противном случае в стержнях нижнего пояса возникнут сжимающие усилия, которые при больших расчетных длинах приведут к существенному увеличению сечений.

Поэтому примем следующую последовательность нагружений:

1. Постоянная нагрузка;
2. Предварительное напряжение затяжек;
3. Снеговая нагрузка;
4. Сейсмическая инерционная нагрузка.

Для имитации особого сочетания нагрузок умножим нагрузки нагружения 1 на коэффициент сочетаний 0,9, а нагрузки нагружения 3 – на коэффициент 0,5. Величину

предварительного напряжения затяжек примем равной 500 кН. Создадим нагружение 4 и введем для него статические инерционные нагрузки из таблиц 2 и 3.

Для учета нелинейной работы конструкции удалим таблицу РСУ и введем таблицу моделирования нелинейных нагружений: история 1 – нагружения 1 и 2 (стадия стадия монтажа) и история 2 – нагружения 1, 2, 3 и 4 (стадия эксплуатации). В варианте конструирования введем подбор сечений по усилиям.

Выполним расчет, заменим принятые сечения элементов на подобранные, и повторим расчет. Окончательные результаты подбора сечений приведены на рисунке 6 (здесь видно полное совпадение сечений стержней).

Подобранные сечения (Металл)			
Схема			
Основная схема			
Текущие сечения			
1	1. Прямоугольная труба 140		
2	2. Прямоугольная труба 100		
3	3. Прямоугольная труба 200		
4	4. Прямоугольная труба 200		
5	5. Прямоугольная труба 50 x		
6	6. Прямоугольная труба 180		
7	7. Прямоугольная труба 140		
8	8. Прямоугольная труба 50 x		
9	9. Прямоугольная труба 100		
10	10. Канат 45.5		
Подобранные сечения			
#	Профиль	Металл	*
1	•45.5	1570	
2	Гн. □140 x 4	C255	
3	Гн. □100 x 6	C255	
4	Гн. □200 x 6	C255	
5	Гн. □200 x 9	C255	
6	Гн. □50 x 2	C255	
7	Гн. □180 x 5	C255	
8	Гн. □140 x 4	C255	
9	Гн. □50 x 2	C255	
10	Гн. □100 x 3	C255	

Рис. 6. Принятые и подобранные сечения стержней

Проверим прогиб фермы от основной истории 2:

$$f = 18,84 \text{ см} > [f] = 15 \text{ см.}$$

Проверка не выполняется, но превышение прогиба небольшое, и при замене расчетных нагрузок на нормативные проверка будет выполнена. Отметим также, что уменьшение прогиба за счет обратного выгиба от предварительного напряжения затяжек составило 31,4%.

Масса фермы составляет 2556 кг, экономия стали по сравнению с фермой без затяжек равна 28,2%.

## 4. Заключение

Приведен расчет большепролетной стальной фермы с предварительно напряженными затяжками в программном комплексе ЛИРА САПР 2022. Для одновременного учета геометрической нелинейности и вертикальной сейсмической нагрузки использован метод инженерной нелинейности.

Показано, что предварительное напряжение фермы высокопрочными затяжками приводит к снижению

расхода стали на 28% и повышению жесткости конструкции на 31%.

## Использованная литература / References

- [1] Металлические конструкции: Специальный курс. / Под ред. Е.И. Беленя. – М., Стройиздат, 1991. – 687 с.
- [2] Стрелец–Стрелецкий Е.Б., Журавлев А.В., Водопьянов Р.Ю. «ЛИРА САПР. Книга I. Основы» / Под ред. акад. РААСН, проф. А.С. Городец-кого. – Издательство LIRA LAND, 2019. – 154 с.
- [3] Фридман Г.С., Туракулова Ш.М. «Стальная ферма, предварительно напряженная затяжкой» / II-Respublika ko'rik tanlovi hamda talabalarning ilmiy-amaliy konferensiyasini. Jizzax politexnika instituti, 20 may, 2023. – 6 с.
- [4] Фридман Г.С., Туракулова Ш.М. «Расчет решетчатых изгибно-жестких вант на сейсмическую



нагрузку» / «Qurilishda innovatsion texnologiyalar»  
xalqaro ilmiy-texnik anjuman. Toshkent arxitektura-qurilish  
universiteti, 20 may, 2023. – 8 с.

Tel.: +99890 7423165

<https://orcid.org/0009-0008-7327-1991>

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Фридман** Канд. техн. наук, доцент кафедры  
**Геннадий** «Строительная инженерия»  
**Соломонович** Самаркандского государственного  
архитектурно-строительного  
университета,  
e-mail:  
[gennadiyfridman47@gmail.com](mailto:gennadiyfridman47@gmail.com)

**Туракулова**  
**Шахноза**  
**Маруфовна**

Докторант кафедры «Строительная  
инженерия» Самаркандского  
государственного архитектурно-  
строительного университета,  
e-mail:

[shakhnoza/turakulova@gmail.com](mailto:shakhnoza/turakulova@gmail.com)

Tel.: +99891 3130500

<https://orcid.org/0009-0006-4557-1319>





## Geotechnical risk assessment and monitoring of the railway tunnel on the Angren - Pop section

Kh.K. Umarov<sup>1</sup>, Yu.K. Tursinaliyeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** A new approach to the quantitative assessment of geotechnical risks based on a simplified quantitative classification of natural-technological safety of the tunnel in operation on the Angren-Pop railway section was considered. The risk assessment was carried out retrospectively, mainly taking into account the design and construction stages. The feasibility of developing similar algorithms for a more detailed assessment was proven, and the geotechnical risks of the tunnel were predicted.

**Keywords:** geotechnical risks, risk assessment, risk control, geotechnical monitoring, tunnel, Angren - Pop railway section

## Angren – Pop uchastkasida joylashgan temir yo‘l tunnelini geotexnik riskni baholash va nazorat qilish

Umarov X.K.<sup>1</sup>, Tursinaliyeva Yu.K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

**Annotatsiya:** Angren – Pop temir yo‘l uchastkasida ekspluatatsiyadagi tunnelni tabiiy-texnogen xavfsizlikni soddalashtirilgan miqdoriy tasniflash asosida geotexnik risklarni miqdoriy baholashga yangicha yondashuv ko‘rib chiqilgan. Riskni baholash retrospektiv tarzda bajarilgan bo‘lib, asosan loyihalash va qurish bosqichlari hisobga olingan. Batafsilroq baholash uchun o‘xshash algoritmlarni ishlab chiqish maqsadga muvofiqligi isbotlangan va tunnelni geotexnik risklarni prognoz qilingan.

**Kalit so‘zlar:** geotexnik risklar, risklarni baholash, risklarni nazorat qilish, geotexnik monitoring, tunnel, Angren – Pop temir yo‘l uchastkasi

### 1. Kirish

Qurilishda risk terminologiyasi yetarlicha xilma-xil bo‘lib, u muayyan turdagi risklarga bog‘liq. Qurilish sohasiga nisbatan risk tushunchasining o‘zini yangi inshoot qurish bo‘yicha qurilish ishlarini olib borishda yoki ushbu ishlarni amalga oshirish natijasida inson salomatligi yoki mulkiga, xususan mavjud binolarga biror-bir zarar yetkazish imkoniyati sifatida ta‘riflash mumkin. Tunnellarni qurishda o‘ziga xos risk turi - geotexnik risk paydo bo‘ladi. Yuqoridagi parametrlardan kelib chiqib, quyidagi ta‘rifni shakllantirish mumkin [1].

Geotexnik risk - bu yer osti va chuqur inshootlarni barpo etish ishlarini olib borishda yoki ushbu ishlarni amalga oshirish oqibatida inson salomatligiga yoki mol-mulkka (avariya holati yuzaga kelishi/ehtimoli, atrof-muhitning dastlabki parametrlarining o‘zgarishi bilan bog‘liq holda), xususan, mavjud binolarga, shuningdek, qurilish uchastkasining mavjud geologik, gidrogeologik va ekologik vaziyatlariga zarar yetkazish riski.

Hozirgi vaqtda geotexnik risklarni nazorat qilish uchun raqamli geomexanika vositalari, tabiiy va texnogen jarayonlarni matematik modellashtirish, neyron tarmoqlari asosida chuqur o‘qitish metodikasi, BIM-texnologiyalarini qo‘llagan holda yer osti inshootlarining texnik holatini baholash algoritmlari muvaffaqiyatli qo‘llanilishi mumkin. Kompleks geotexnik monitoring tizimi tarkibidagi inshootlar va qamrovchi massivlarning kuchlanganlik-

deformatsiyalanganlik holatini tabiiy sharoitda o‘rganish dastlabki ma‘lumot hisoblanadi [1].

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki [2], O‘zbekiston-Qirg‘iziston-Xitoy temir yo‘li rivojlanishida tranzit yuk oqimini hajmi hisobiy 10-yillikda 8-10 million tonnani, hisobiy 15-yillikda esa 15 million tonnagacha yetishi mumkin. Bu esa O‘zbekiston-Qirg‘iziston-Xitoy temir yo‘li rivojlanishida Angren – Pop uchastkasida joylashgan temir yo‘l tunnelini yuk tashish qobiliyatini batafsil tahlil qilish talab etadi.


Angren – Pop temir yo‘lining umumiy uzunligi 123 km [3]. Angren – Pop temir yo‘l uchastkasida 7 ta peregondan tashkil topgan bo‘lib, shundan eng uzun peregondan “Orzu – Chodak” 22,7 kmni, eng qisqa peregondan “Kon – Temiryo‘lobod” 13,2 kmni tashkil qiladi. “Orzu – Chodak” peregondida 19 kilometrli tunnel joylashgan (1-rasm).



1-rasm. Angren – Pop temir yo‘l uchastkasi sxemasi

Tunnel loyihaga muvofiq ikki nishabli ko‘rinishga ega (+20; +10; +5,4; va -5,5‰). Tunnel “Orzu” stansiyasidan 3,2 km masofada boshlanadi va bu uchastkada maksimal qiyalik 25‰ ga teng. Sharqiy portaldan “Chodak” stansiyasigacha 1,3 kmni va maksimal nishbligi 20‰ (2-rasm). Dunyo reytingida murakkabligi bo‘yicha Angren –

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0397-2780>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0002-5824-3200>



Pop temir yo'l uchastkasida ekspluatatsiyadagi tunnel 8-o'rinni, uzunligi bo'yicha esa 13-o'rinni egallagan. Bundan tashqari, tunnel loyihadagi eng ko'p kapital talab qiladigan inshoot hisoblanadi (barcha qurilish qiymatining 27%) va tunnelni O'zbekiston – Qirg'iziston - Xitoy temir yo'li qurilishi boshlanishi bilan quvvatini oshirish talab qiladi [4].



**2-rasm. Tunnel marshrutining joylashish sxemasi**  
“O'zbekiston” lokomotivning “Orzu – Chodak” peregonida sostav og'irligi quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$Q_{br} = \frac{F_{kr} - R \cdot (w'_o + i_r)}{w'_o + i_r}, t$$

bu yerda  $F_{kr}$  – “O'zbekiston” lokomotivi uchun hisoblangan tortishi kuchi 41830 kgs tashkil etadi;

$P$  – lokomotiv og'irligi “O'zbekiston” uchun 138 t;

$i_r$  – rahbar nishablik.

Bunda:

$$Q_{br} = \frac{41830 - 138 \cdot (2,9 + 27)}{1,36 + 27} = 1330 \text{ t};$$

“Orzu – Chodak” peregonida yuk tashishning tortish xizmati 2-seksiyali “O'zbekiston” elektr lokomotivlar bilan ta'minlangan. Ular 60 tonnagacha yuk sig'imidan foydalanish omiliga ega bo'lgan 0,80 tonnagacha yuk ko'tarish quvvatiga ega to'rt o'qli vagonlardan va 22 tonnagacha tara og'irligidan hosil bo'ladi. Shunda, tarkibning sof massasining umumiy massaga nisbati 0,85 ni tashkil qiladi.

Bunda, “O'zbekiston” uchun yuk poezdining umumiy og'irligi  $Q_{netto}=0,84 \cdot Q_{br}=0,84 \cdot 1330 = 1120 \text{ t}$  bo'ladi. Shunda, 2-seksiyali “2O'zbekiston” uchun yuk poyezdining umumiy og'irligi  $Q_{netto}=2 \cdot 1120=2240 \text{ t}$  bo'ladi. Demak hisob ishlari shuni ko'rsatmoqdaki “2O'zbekiston” sostav og'irligi 2240 tonnani tashkil etmoqda.

Juftlashtirilmagan paketli poyezd jadvaliga ega bo'lgan bir izli “Orzu – Chodak” peregonning o'tkazish qobiliyatini quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$n = \frac{(1440 - t_{TEKN}) \cdot \alpha_n}{t' + t'' + 2\tau} \cdot \left( \frac{\text{juft poezd}}{\text{sutkada}} \right)$$

bu yerda  $t_{TEKN}$  – texnologik oyna, yo'lni va uning infratuzilmasini (aloqa tarmog'i, signalizatsiya tizimlari va boshqalar) joriy ta'mirlash va ta'mirlash bo'yicha ishlarni bajarish uchun ajratilgan. Statik tahlillar natijasida bir izli temir yo'l uchun 60 minut qabul qilinadi;

$\alpha_n$  – ishonchlik koeffitsienti, umuman harakatlanuvchi tarkibdagi nosozliklarni hisobga olgan holda, mavjud o'tkazish qobiliyatini hisoblashda ishonchlik koeffitsienti elektrlashtirilgan bir yo'lli liniyalarda 0,93 olinadi;

$t'$ ,  $t''$  – poezdning peregon yo'nalishi bo'yicha navbati bilan bir minutda juft va toq yo'nalishlarda vaqti (1-rasm);

$\tau$  – minutda stansiya intervallari, 3 minut.

Bunda:

$$n = \frac{(1440 - 60) \cdot 0,93}{30 + 30 + 2 \cdot 3} = 19 \frac{\text{juft poezd}}{\text{sutkada}}$$

Angren – Pop uchastkasi umumiy poyezdlarni o'tkazish qobiliyati sutkasida 19 juftni tashkil qildi. 2023 yil natijalari tahlili shuni ko'rsatadiki yulovchi va bo'sh poyezdlarni o'tkazish sutkasida 5 juftni tashkil etgan. Shundan “Orzu – Chodak” peregoni sutkasida 14 juft yuk poyezdini o'tkazish qobiliyatiga ega.

Yuk tashish qobiliyatini quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$Yuk = \frac{365 \cdot Q_n \cdot n_{yuk}}{\gamma} \cdot 10^{-6}, \frac{\text{mln. t}}{\text{yil}}$$

bu yerda  $n_{yuk}$  – ma'lum bir yo'nalishda temir yo'l o'tishi mumkin bo'lgan yuk poezdlari soni;

$\gamma$  - tashishning notekislik koeffitsienti 1,2.

Bunda:

$$Yuk = \frac{365 \cdot 2240 \cdot 14}{1,2} \cdot 10^{-6} = 9,54 \frac{\text{mln. t}}{\text{yil}}.$$

Hisob ishidan ma'lumki, “Orzu – Chodak” peregoni umumiy yuk o'tkazish hajmi 9,54 mln tonna yuk hajmini tashkil etadi. Bu esa Angren – Pop temir yo'l uchastkasida ekspluatatsiyadagi tunnelni quvvatini kuchaytirish talab etadi. Tunnelning quvvatini kuchaytirish bo'yicha tadbirlarni bevosita uni ekspluatatsiya qilish jarayonida amalga oshirishda yuzaga keladigan geotexnik risklar, odatda, turli xil ishlarning katta hajmi bilan bog'liq, masalan, ikkinchi tunelni qurish.

Geotexnik riskni baholash va nazorat qilish tunnel quvvatini kuchaytirish bosqichida geotexnik risklarni baholash va strategik prognozlash yangi tunnellar trassalarini joylashtirishning optimal variantlarini tanlash, ikkinchi tunelni qurishda ham, mavjud Tunnellarni ekspluatatsiya qilishda ham sanoat va ekologik risksizlikni ta'minlaydigan qurilish texnologiyalari va risklarga mos ogohlantirish choralari belgilash imkonini beradi.

Tunnellar qurilishida risklarini baholash va prognoz qilishning asosiy usullari sifatida xalqaro me'yoriy-uslubiy hujjatlar talablarini hisobga olgan holda turli xil yondashuvlardan foydalaniladi. Bundan tashqari, tunnel quvvatini kuchaytirish bosqichida risklarni sifat va miqdoriy baholashning turli xil zamonaviy algoritmlari sinov rejimida amalga oshiriladi [5, 6].

## 2. Tadqiqot metodikasi

Har qanday tunnel loyihasi bilan bog'liq umumiy texnik riskni baholash uchun sug'urta tashkilotlariga mablag' taqdim etish uchun ishlab chiqilgan tunnel qurilishi risklarining yagona soddalashtirilgan miqdoriy tasnifi ko'rib chiqilgan [7]. Tasniflash tunnelning quyidagi beshta asosiy riskiga asoslanadi:

1. Qurilish hududining seysmikligi;
2. Geologik va gidrogeologik sharoitlar;
3. Inshootning o'lchami va geometrik parametrlari;
4. Inshootning yotqizilish chuqurligi;
5. Qurilish jarayonida massiv va mustahkamlagich konstruksiyalarining deformatsiyalarini baholash.

Ushbu yondashuvning afzalliklaridan biri shundaki, agar qurilish hududi bo'yicha umumiy ma'lumotlar mavjud bo'lsa, sanab o'tilgan riskli omillarning har biri baholanishi mumkin. Tasniflash jarayonida u beshta asosiy riskning har biri uchun 3-4 toifa bilan belgilanadi. “Risk-reyting” deb ataladigan raqamli vaznli reyting yer osti qurilishining

tarixiy tajribasidan kelib chiqqan holda ushbu risklarning loyihaga ta'sirining turli darajalari asosida beshta asosiy riskning har biri uchun ma'lum bir toifa uchun taqdim etiladi. Taklif etilgan asosiy risklar, ularning kichik toifalari va tegishli risk-reytinglari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

**Asosiy risklar, ularning kichik toifalari va risklarga mos keladigan "Risk-reyting"lari**

Risk darajasi	Risk-reyting
Seysmik faollik	
Seysmik riskli hudud $\geq 9$ ball	15
Seysmiklik 7-8 ball	10
Noseysmik rayon	5
<b>Geologik risklar</b>	
Ko'p sonli buzilgan zonalar/yoriqlar	25
Buzilgan zonalar/yoriqlar mavjudligi	15
Buzilgan zonalar/yoriqlar yo'qligi	5
<b>Ish hajmi</b>	
Juda katta $\varnothing > 12$ m	20
Katta $6 \text{ m} < \varnothing < 12 \text{ m}$	15
O'rtacha $3 \text{ m} < \varnothing < 6 \text{ m}$	10
Kichik $\varnothing < 3 \text{ m}$	5
<b>Qazish chuqurligi, D</b>	
Chuqur joylashuv, $D > 50 \varnothing$	20
$1,5 \varnothing < D < 50 \varnothing$	5
Chuqur bo'lmagan joylashuv, $D < 1,5 \varnothing$	10
<b>Qurilish jarayonidagi deformatsiyalar</b>	
Yirik	20
O'rtacha	15
Kichik	5

### 3. Natija va muhokamalar

Yondashuvdan foydalanish ma'lum bir tunnel uchun beshta asosiy riskning har bir kichik toifasidan tegishli "Risk-reyting"ni tanlashni talab qiladi. Tunnelning yakuniy "Risk-reyting"ni va uning 0 dan 100 ballgacha o'zgarishi mumkin bo'lgan "Risk-klass"ni qo'shish orqali topamiz (2-jadval).

2-jadval

**"Risk-reyting" va "Risk-klass"larni jamlash asosida Angren – Pop temir yo'l uchastkasida ekspluatatsiyadagi tunnelning "Risk-reyting"i**

Tunnelning "Risk-klass"i	Tunnelning "Risk-reyting"i
Juda baland	75 dan katta
Baland	60 – 75
O'rtacha	45 – 60
Past	25 – 45
Juda past	25 dan kichkina

Angren – Pop temir yo'l uchastkasida ekspluatatsiyadagi tunnel "Risk-reyting"i bo'yicha 74 ballni va "Risk-klass"i bo'yicha "baland" ekanligi aniqlandi.

Tunnellarini qurishda geotexnik risklarni baholashning soddalashtirilgan usullarini qo'llash bilan bir qatorda, shunga o'xshash geologik sharoitlarda ekspluatatsiyadagi tunnellarini qurish tajribasini hisobga olgan holda, risklarni batafsilroq sifat va miqdoriy baholash talab etiladi. Ma'lumki, O'zbekiston-Qirg'iziston-Xitoy temir yo'li qurilishi loyihaning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari bo'yicha 1421 ta transport inshootlar mavjud bo'lib, shundan 29 ta – Tunnel va Termiz – Mozori-Sharif – Qobul – Peshovor temir yo'l liniyasi uzunligi 765 kilometr bo'lib 78,5 kilometr Tunnel qurish rejalangan. Tog' massivlarining

o'ta birjinslimasligida, shuningdek, muhandislik-geologik risklarni qisqa muddatli prognoz qilish va grunt massiv kesib o'tishda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan ssenariylarini dolzarblashtirish zarur. Buning uchun tog' jinslari massivining fizik holatini tezkor boshqarish va texnogen halokatlarining oldini olish uchun bevosita grunt massiv kesib o'tish jarayonida kompleks geotexnik monitoring tizimining usullaridan foydalanish kerak.

### 4. Xulosa

1. Risklarni boshqarish nazariyasi nuqtayi nazaridan xavfli hodisa va jarayonlarni integral baholash profilaktik va tiklovchi chora-tadbirlarni ishlab chiqishga yondashuvlarni birlashtirish, risk darajasining ishonchli ko'rsatkichlarini tanlash va ularning har biri uchun javob choralarni ishlab chiqish imkonini beradi. Risklarni soddalashtirilgan miqdoriy baholash usullari loyiha oldi tayyorgarlik bosqichida qo'llanilishi va qurilish obyektlarini sug'urtalashda foydali bo'lishi mumkin.

2. Mavjud geotexnik risklarni yanada batafsil baholash, shuningdek, tunnelni qurish va ekspluatatsiya qilish jarayonida risk darajasining o'zgarishini dinamik nazorat qilish uchun analogik algoritmlarni ishlab chiqish maqsadga muvofiqdir.

3. Geotexnik risklar darajasining o'zgarishini nazorat qilish va prognoz qilish vositasi sifatida kompleks geotexnik monitoring tizimini qo'llash tavsiya etiladi.

4. Tunnellari hayot siklining barcha bosqichlarida tog' jinslarining fizik-mexanik xususiyatlari va yemirilish jarayonlarini baholash, kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik va geodinamik holatini tadqiq qilishning yangi eksperimental usullari, asbob-uskunalar va texnologiyalarini qo'llash imkoniyatlari integratsiyalashgan. Bunday tizimlarni joriy etish va qo'llash yuzaga keladigan muhandislik risklarga erta javob berish imkoniyatini ta'minlash uchun tunnellarini mavjudligining barcha bosqichlarida geotexnik risklarni muvaffaqiyatli nazorat qilish kafolati hisoblanadi.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] М. О. Лебедев, К. В. Романевич, Оценка и контроль геотехнических рисков при строительстве подземных сооружений на примере тоннелей БАМ /Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Том 6, № 1, 2019 – С. 157-162.

[2] Umarov K. et al. Mathematical model for prediction of cargo flow during the construction of the railway line Uzbekistan-Kyrgyzstan-China //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 401. – С. 03018. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103018>;

[3] Умаров, Х.К. Строительство железнодорожной линии Ангрэн - Пап и ее роль в формировании сети железных дорог республики Узбекистан / Х.К. Умаров, Е. С. Свинцов //Известия. Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – Вып. 4 (41). – С. 80-86;

[4] Умаров Х.К. Принятие решений при обосновании усиления мощности железных дорог Узбекистана в условиях неопределенности исходной информации: дис. – ХК Умаров, – СП, 2019.–171 с;



[5] A Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works. 2nd Edition (May 2012). The International Tunneling Insurance Group;

[6] ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска. Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО/МЭК 31010:2009 “Менеджмент риска. Методы оценки риска”;

[7] Brox D.A. simplified quantitative risk assessment for the insurability of tunnel projects, World Tunnel Congress 2018, International Tunnel Association, Dubai, UAE, pp. 3718 – 3731.

## Mualliflar to‘g‘risida ma’lumot / Information about authors

<b>Umarov Xasan Kobilovich</b>	Toshkent davlat transport universiteti PhD, v.b. professor, Temir yo‘l muhandisligi kafedrası. E-mail: <a href="mailto:janobhuk@mail.ru">janobhuk@mail.ru</a> Tel.: +998 90 443 49 14 <a href="https://orcid.org/0000-0003-0397-2780">https://orcid.org/0000-0003-0397-2780</a>
<b>Tursinali- yeva Yulduz Kaxrama- novna</b>	Toshkent davlat transport universiteti Doktorant, Ko‘priklar va tonnellar kafedrası. E-mail: <a href="mailto:yulduztursinaliyeva@gmail.com">yulduztursinaliyeva@gmail.com</a> Tel. :+ +998 33 629 65 65 <a href="https://orcid.org/0009-0002-5824-3200">https://orcid.org/0009-0002-5824-3200</a>





## Calculations of seismic loads of the Rezaksai Reservoir

N. Khudayberdiyev<sup>1</sup>, S. Khudaykulov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Namangan engineering building institute, Namangan, Uzbekistan

<sup>2</sup>Kimyo international university in Tashkent, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The paper considers the design load on different cross-sections and vibrations of water pipes, obtained empirically and confirmed by theoretical formulas. When constructing the epuray of the calculated equal force, all loads are summarized. The time incompatibility of local design loads is not taken into account. Finding the equal force of loads and their distribution throughout the volume of the structure, taking into account the simultaneity of action in all sections is carried out according to the formula A. L. Mozhevitinov and V. N. Bukhartsev.

**Keywords:** reservoir, reservoir, seismic, score, structures, deformation, spillway, evaluation, dam, fluctuations, slopes, strength, rock-ground, confinement, water depth at structure, loads, water weight

## Расчёты сейсмических нагрузок Резаксайского водохранилища

Худайбердиев Н.<sup>1</sup>, Худайкулов С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Наманганский инженерно-строительный институт, Наманган, Узбекистан

<sup>2</sup>Ташкентский международный Университет Кимё, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В статье рассматривается расчетная нагрузка на разные сечения и колебания водопроводящих труб, полученной эмпирическим путём и подтверждённым теоретическими формулами. При построении эпюры расчетной равнодействующей силы суммируются все нагрузки. Не учитывается несовместимость во времени локальные расчетные нагрузки. Нахождения равнодействующей нагрузок и их распределения по всему объёму сооружения с учетом одновременности действия во всех сечениях ведется по формуле А. Л. Можевитиновым и В. Н. Бухарцевым.

**Ключевые слова:** водохранилище, водохранилище, сейсмического, баллов, сооружений, деформаций, водосбросные, оценку, плотины, колебаний, склоны, прочности, каменно-земляную, ограниченность, глубина воды у сооружения, нагрузки, массу воды

### 1. Введение

Резаксайское водохранилище - гидротехническое сооружение, построенное для хранения воды, стекающей с горных хребтов Курама. Он служит для обеспечения водой сельскохозяйственных культур. Строительство водохранилища началось в 2003 году.

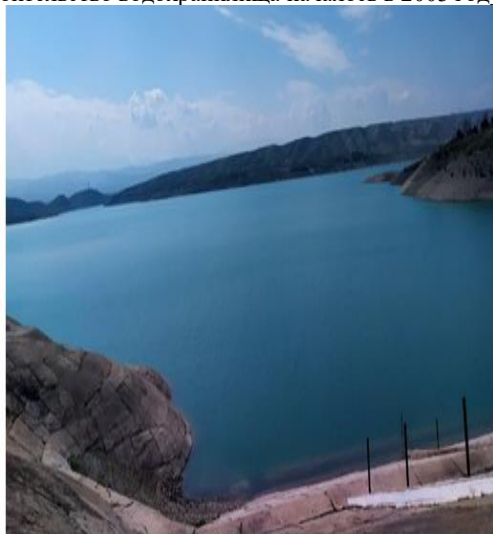


Рис. 1. Резаксайского водохранилища

Согласно проекту, плотина была построена. 4470 м, мяч. 89 м, полная вместимость 300 млн.м<sup>3</sup> Резаксайское водохранилище включает в себя каменно-земляную плотину, 2 сооружения, обеспечивающих подачу воды в реку Сырдарью и Северный Ферганский канал с расходом 40 м<sup>3</sup>/с, и водосбросные.

**Литературный анализ.** Оценка сейсмичности площадок строительства Резаксайского водохранилища.

1. При проектировании водоподпорных сооружений III и IV классов, разрушение которых не приводит к катастрофическим последствиям, и безнапорных сооружений всех классов сейсмичность площадок строительства принимают по картам сейсмического районирования территории или по списку основных населенных пунктов, расположенных в сейсмических районах (Таблица 1.). При этом следует учитывать, что сейсмичность района, приведенная, а картах сейсмического районирования, относится к участкам со средними грунтовыми условиями, характеризующимися песчано-глинистыми грунтами при низком уровне грунтовых вод ( $h_{г.с.} > 6\text{ м}$ ). В дальнейшем сейсмичность уточняют с утверждающей проект организацией, руководствуясь данными, приведенными в табл. 1.



Таблица 1

Уточнение сейсмичности площадки строительства Резаксайского водохранилища на основании инженерно-геологических данных

Категория грунта по сейсмическим свойствам.	Грунты основания	Уточненная сейсмичность, баллы, при сейсмичности района, баллы		
I	Скальные, полускальные и крупно-обломочные особо плотные.	6	7	8
II	Глины и суглинки твердые, крупнообломочные, гравийно-галечные, гравийно-галечные и крупные пески.	7	8	9
III	Глины и суглинки мягко и текуче пластичные, пески средней крупности и мелкие	8	9	>9

**Примечания:** 1. В районах сейсмичностью 6 баллов уточненную сейсмичность площадок строительства водоподпорных гидротехнических сооружений на грунтах III категории следует принимать равной 7 баллам.

1. Строительство гидротехнических сооружений на грунтах III категории в районах сейсмичностью 9 баллов разрешается только при специальном обосновании [1,2,4-6].

2. На стадии технико-экономического обоснования строительства водоподпорных сооружений всех классов сейсмичность площадок строительства назначают согласно п. 1; при этом сейсмичность строительных площадок сооружений I класса повышают на 1 балл.

3. При разработке технических и техно рабочих проектов водоподпорных сооружений I и II классов, возводимых в районах сейсмичностью 6 баллов и выше, сейсмичность площадок строительства следует уточнять на основании специальных исследований, включающих:

а) изучение сейсмического режима площадки строительства и получение данных для расчета и проектирования сейсмостойких сооружений, их оснований и береговых склонов;

б) выявление возможных зон возникновения остаточных деформаций оснований и оценку их значений в каждой зоне;

в) выявление других видов сейсмической опасности, например возможности обрушения в водохранилище больших масс горных пород, падения непосредственно на сооружение неустойчивых скальных массивов и др.;

г) определение динамических деформационных и прочностных характеристик материалов сооружений и грунтов оснований с учетом изменения их свойств при обводнении;

д) оценку возможных изменений сейсмичности площадки строительства после наполнения водохранилища.

4. На период строительства гидротехнических сооружений, за исключением сооружений I и II классов и сооружений, участвующих в процессе строительства в создании напорного фронта, расчетную сейсмичность площадок строительства снижают на 1 балл [3,4,5].

## 2. Методология исследования

**Постановка вопроса.** Определение сейсмических нагрузок Резаксайского водохранилища. В расчетах прочности и устойчивости гидротехнических сооружений на сейсмические воздействия необходимо учитывать сейсмические воздействия от масс сооружений (сейсмические инерционные нагрузки), от присоединенных масс воды (или гидродинамического давления), от волн в водохранилище, вызванных землетрясением, от динамического давления наносов. При технико-экономическом обосновании строительства гидротехнических сооружений I и II классов и на всех стадиях проектирования сооружений III и IV классов для определения сейсмических нагрузок могут быть использованы приближенные зависимости, учитывающие только первый (основной) тон колебаний и отвечающую этому тону приближенную форму деформации сооружения.

При расчетах прочности гидротехнических сооружений учитывают только горизонтальные составляющие сейсмического воздействия. Исключение составляют сооружения, напряженное состояние которых зависит от вертикальных смещений (например, арочные плотины двоякой кривизны).

При расчетах устойчивости гидротехнических сооружений учитывают горизонтальную и вертикальную составляющие, действующие одновременно.

Горизонтальную составляющую сейсмической нагрузки  $S_{ik}$  в точке  $k$  сооружения, соответствующую  $i$ -му тону его собственных колебаний, определяют по формуле:

$$S_{ik} = Q_k m k_c \beta_i^0 \eta_{ik} = 90 \text{ м}^3 \cdot 2300 \frac{\text{кГ}}{\text{м}^3} \cdot 1,0 \cdot 0,025 \cdot 1,5 = 7762,5 \text{ кГ} = 7762,5 \text{ кН} \quad (1)$$

Где  $Q_k$  - вес элемента сооружения, отнесенный к точке  $k$ ;  $m$  - коэффициент, учитывающий особые условия работы гидротехнических сооружений, принимаемый равным 1,5.

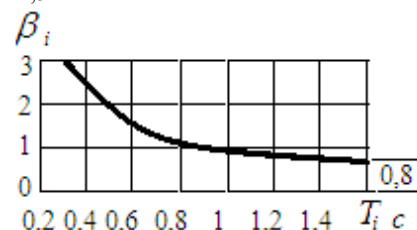


Рис. 2. График для определения коэффициента динамичности  $\beta_i$

Для бетонных плотин I класса; 1,3 для плотин I класса из грунтовых материалов, 1,0. Для остальных сооружений I класса и всех сооружений II–IV классов;  $k_c$  — коэффициент сейсмичности (табл.2). При одновременном учете горизонтальной и вертикальной составляющих сейсмических сил значение  $k_c$  в формуле



(2) умножают на  $\cos \alpha$  (здесь  $\alpha$  — угол между направлением сейсмического воздействия и горизонталью);  $\beta_i^0$  — коэффициент динамичности;

$$\beta_i^0 = m^0 \beta_i = 0,2 \quad (2)$$

здесь  $m^0$  — коэффициент, зависящий от вида материала и конструкции сооружения (табл. 3);  $\beta_i$  — коэффициент динамичности, соответствующий  $i$ -той форме собственных колебаний сооружения, определяемый по графику на рис. 1. в зависимости от периода собственных колебаний сооружения  $T_i$  обопределении значений  $T_i$  для плотин из грунтовых материалов см. п. 9.5[2,10,11]; значение  $\beta_i^0$  принимают не менее 0,8;  $\eta_{ik}$  — коэффициент, зависящий от  $i$ -той формы собственных колебаний сооружения и от места расположения точки  $k$ .

$$\eta_{ik} = \frac{X_i(x_k) \sum_{j=1}^n Q_j X_i(x_j)}{\sum_{j=1}^n Q_j X_i^2(x_j)} = \frac{0,2 \left( 31,5 \text{ м}^3 \cdot 2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} + 41,3 \text{ м}^3 \cdot 1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} + 90 \text{ м}^3 \cdot 2300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)}{\left( 31,5 \text{ м}^3 \cdot 2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,04 + 41,3 \text{ м}^3 \cdot 1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,09 + 90 \text{ м}^3 \cdot 2300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,04 \right)} = \frac{67216 \text{ кг}}{16747,2 \text{ кг}} = 4 \quad (3)$$

где  $X_i(x_k), X_i(x_j)$  — смещения сооружения по  $i$ -му тону собственных колебаний в точках с координатами  $x_k$  и  $x_j$  где в расчетной схеме сооружения приняты сосредоточенные массы.

При определении по формуле (2) сейсмической нагрузки на подземные сооружения и скальные массивы, образующие основания гидротехнических сооружений и береговые склоны, следует принимать  $\beta_i^0 \eta_{ik} = 1$  на подпорные стенки [3,7,9].

$$\beta_i^0 \eta_{ik} = 1,5 \quad (4)$$

Вертикальную составляющую сейсмической нагрузки  $S_k^B$  в точке  $k$  сооружения определяют по формуле

$$S_k^B = Q_k m k_c \sin \alpha = 90 \text{ м}^3 \cdot 2300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1,0 \cdot 0,025 \cdot \sin 30^\circ = 2587,5 \text{ кг} = 2 \text{ Т}587 \text{ кг} \quad (5)$$

Где  $\alpha$  — угол между горизонталью и направлением сейсмического воздействия, принимаемый не более  $30^\circ$ . При оценке прочности сооружений расчетные усилия от сейсмического воздействия суммируют с усилиями от других нагрузок, входящих в данное сочетание нагрузок и воздействий.

Прочность бетонных гравитационных и арочных плотин проверяют на горизонтальные сейсмические нагрузки, которые определяют для каждого из учитываемых тонов собственных колебаний.

Расчетные усилия  $N_p$  (поперечную или нормальную силу, изгибающий момент) в рассматриваемом сечении конструкции при периоде первого (основного) тона собственных колебаний более 0,3 с определяют по формуле:

$$N_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2} = \sqrt{3^2 + 3^2 + 4^2} = \sqrt{34} \approx 5,83 \quad (6)$$

Где  $n$  — число учитываемых тонов колебаний;  $N_i$  — усилие в рассматриваемом сечении для  $i$ -го тона колебаний. При периоде первого тона собственных

Таблица 2

Значения коэффициента сейсмичности  $k_c$ 

Расчетная сейсмичность, баллы	$k_c$
7	0,025
8	0,050
9	0,100

Таблица 3

Значения коэффициента  $m^0$ 

Сооружения	$m^0$
Железобетонные и бетонные, работающие при колебаниях без раскрытия швов	1
Бетонные, свободно деформирующиеся при колебаниях с частичным раскрытием швов	0,8
Земляные и каменно-набросные.	0,7

Для гидротехнических сооружений, при расчетах которых можно ограничиться учетом только горизонтальной составляющей смещения, коэффициент  $\eta_{ik}$  определяют по формуле

колебаний, не превышающем 0,3 с,  $N_p$  подсчитывают по формуле

$$N_p = \sqrt{5^2 + 34} \sqrt{N_{\max}^2 \sum_{i=1}^n N_i^2} \quad (7)$$

Где  $N_{\max}$  — наибольшее значение усилия в рассматриваемом сечении, определяемое из сопоставления эпюр сейсмических усилий, отвечающих отдельным формам колебаний сооружения;  $N_i$  — значения усилия в том же сечении по другим эпюрам (кроме значения  $N_{\max}$ ). Усилия в конструкциях  $N_i(N_{\max})$  соответствующие учитываемым формам собственных колебаний, определяют в предположении статического действия на сооружение сейсмических сил  $S_i$ , вычисленных по формуле (2).

Расчетную горизонтальную сейсмическую нагрузку  $S_p$  в рассматриваемом сечении сооружения при расчетах его устойчивости определяют по формуле:

$$S_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2} = \sqrt{(7762,5 \text{ кг})^2 + (2587,5 \text{ кг})^2} \approx 8167,2 \text{ кг} = 8 \text{ Т}167 \text{ кг} \quad (8)$$

$S_i$  — расчетная нагрузка в том же сечении для  $i$ -го тона колебаний, определяемая по формуле (2). Следует иметь в виду, что при построении эпюры расчетных нагрузок на сооружение в целом или определении расчетной равнодействующей суммированием нагрузок, найденных по формуле (8), получаются завышенные результаты, поскольку при этом не учитывается несовместимость во времени локальных расчетных нагрузок  $S_p$ . Прием нахождения равнодействующей нагрузок и их распределения по всему объему сооружения с учетом одновременности действия во всех сечениях предложен А. Л. Можевитиновым и В. Н. Бухарцевым [2,3,8,9].



Присоединенную массу воды  $T_B$ , приходящуюся на единицу площади поверхности гидротехнических сооружений, определяют по формуле

$$T_B = \frac{\gamma_w}{g} h \mu \psi = \frac{1 \frac{м^3}{м^3}}{9,81 \frac{м}{сек^2}} \cdot (488,20 - 463,55) м \cdot 0,66 \cdot 0,53 = 8010,5 кг = 8T10 кгх \quad (9)$$

Где  $\gamma_w$  - удельный вес воды,  $\frac{Н}{м^3}$ ;  $h$  - глубина воды у сооружения, м;  $\mu$  - безразмерный

коэффициент присоединенной массы воды, определяемый в зависимости от характера движения по формулам, приведенным в табл. 4;  $\psi$  - безразмерный коэффициент, учитывающий ограниченность длины водоема  $\frac{l}{h}$  (табл. 6.) [здесь  $l$  - расстояние между сооружением и противоположным ему берегом водоема (для шлюзов и аналогичных сооружений между противоположными стенками конструкции) на глубине  $\frac{2}{3} h$ , от свободной поверхности воды.

При наличии воды с обеих сторон сооружения присоединенную массу воды принимают равной сумме величин  $T_B$ , подсчитанных по формуле (9) для каждой из его сторон. Для отдельно стоящих сооружений (водозаборные башни, опоры мостов, сваи и пр.) присоединенную массу воды  $T_B$  на единицу длины конструкции подсчитывают по формуле:

$$T_B = \frac{\gamma_w}{g} d^2 \mu = \frac{1 \frac{м^3}{м^3}}{9,81 \frac{м}{сек^2}} \cdot (24,65 м)^2 \cdot 0,66 = 40,9 \frac{Т \cdot сек^2}{м^2} \quad (10)$$

где  $d$  - диаметр круглого или размер стороны квадратного поперечного сечения сооружения, м. При поперечных колебаниях свай присоединенная масса воды на единицу их длины приблизительно равна массе воды в объеме единицы длины свай.

### 3. Заключение

1. Показана оценка сейсмичности площадок строительства Каркидонского водохранилища

2. Определены сейсмические нагрузки Каркидонского водохранилища с вертикальными и горизонтальными составляющими сейсмической нагрузки.

3. Горизонтальную составляющую сейсмической нагрузки. Расчетные усилия Присоединенную массу воды.

### Использованная литература / References

- [1] Гидротехнические сооружения. И. А. Василь Г. И. Журавлев, С. Н. Корюкин и др.; Под Н. П. Розанова. М., Стройиздат, 1978.
- [2] Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. М., Стройиздат, 1983.
- [3] Можевитинов А. Л., Бухарцев В. Н. Предложения по усовершенствованию раздела II-А. 12-69 «Строительство в сейсмических районах Гидротехническое строительство, 1977, № 9.
- [4] СНиП II-A.10-71. Строительные конструкции основания. Основные положения проектирования. Стройиздат. 1972.
- [5] СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. М., Стройиздат, 1982.
- [6] СНиП II-16-76. Основания гидротехнических сооружений. М., Стройиздат, 1977.
- [7] Jo'rayev X. A., Xudaykulov S. I. Suv saroylarida havo oqimining ta'sirini hisobga olish uchun nishablikni aniqlash dasturi. Talabnoma kelib tushgan sana: 09.07.2022 Talabnoma raqami: DGU 2022 4004.
- [8] Бекмирзаев Д. А. Численный метод решения сейсмодинамики подземных трубопроводов //Ташкент: «Fan va texnologiya». - 2018.
- [9] Худайбердиев Н. Т., Худайкулов С. И. Катта сув хавзалари ва кўллардаги zilzilalar ва уларнинг хавфсизлигига таъсирини баҳолаш. Научный журнал механика и технология № 1 (1), 2022 Махсус сон. 72-77.
- [10] Худайбердиев Н. Т., Жўраев Х. А. Худайкулов С. И. Движение воздуха над свободной поверхностью неаэрированного потока в водоводе замкнутого сечения. Zamonaviy muhandislik kommunikatsiya tizimlari va avtomobil yo'llari infrastukturasidagi dolzarb muammolar" NamMQI, 18-19 noyabr, 2022 yil, Namangan shahri. 428-433.
- [11] С.И. Худайкулов, Н.Т. Худайбердиев, Б.Х. Абдуллаев. Техноген zilzilalarнинг келиб чиқиши ва гидроиншоотга таъсирини ўрганиш. 2022 .С П Е Ц. В Ы П У С К № 8. 25-29.

### Информация об авторах / Information about the authors

Худайбердиев Н.	Наманганский инженерно-строительный институт e-mail: <a href="mailto:xudayberdiyev.nizomiddin@bk.ru">xudayberdiyev.nizomiddin@bk.ru</a>
Худайкулов С.	Международный Университет Кимё e-mail: <a href="mailto:s.xudaykulov@mail.ru">s.xudaykulov@mail.ru</a>



## Calculation of joints of bending wooden structural elements in ANSYS Workbench

S. Razzakov<sup>1</sup><sup>a</sup>, D. Berdakov<sup>2</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan

<sup>2</sup>Karakalpak State University, Nukus, Karakalpakstan, Uzbekistan

**Abstract:** The article highlights the increase of joint strength in the joints of bending wooden elements, the results and indicators of theoretical calculations obtained with the help of ANSYS Workbench computer program on stress-strain states of joints of wooden structures.

**Keywords:** wood joint model, fasteners, bending, finite elements, stress, strength, deformation

## Egiluvchi yog'och konstruksiyalar elementlarining birikmalarini ANSYS Workbench dasturida hisoblash

Razzakov S.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Berdakov D.<sup>2</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, O'zbekiston

<sup>2</sup>Qoraqalpog' davlat universiteti, Nukus, Qoraqalpog'iston, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Maqolada egiluvchi yog'och elementlari birikmalaridagi birikma mustahkamligini oshirish, ANSYS Workbench kompyuter dasturi yordamida yog'och konstruksiya birikmalarining kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holatlari bo'yicha olingan nazariy hisoblash natijalari va ko'rsatkichlari yoritilgan.

**Kalit so'zlar:** yog'och birikma modeli, bog'lovchilar, egilish, chekli elementlar, kuchlanish, mustahkamlik, deformatsiya

### 1. Kirish

Miqdoriy modellashda ANSYS Workbench dasturiy kompleksida chekli elementlar usulidan qo'llaniladi. U bazaviy elementlarning ma'lum miqdorini tahlil qilish uchun murakkab ob'ektlarni chekli elementlarga bo'lishdan iborat bo'lib, bunda hisoblash jarayonida materialning belgilangan barcha mustahkamlik xususiyatlarini saqlab qoladi. Ushbu usul ob'ektlarni muayyan holatdagi tavsifini maksimal darajada yaqin bo'lishini saqlab qoladi va ayni vaqtda dasturiy kompleks qo'yilgan masalani matematik jihatdan hal qilish uchun imkoniyat yaratadi. Agar sohada bo'lgani kabi dastlabki ob'ektda ham qandaydir doimiy o'zgaruvchan kattalik (masalan, yog'ochdagi ichki kuch yoki kuchlanish) bo'lsa, unda ko'plab kesiklar-uzluksiz funksiyalarni chulg'ab oladi, ular esa bazaviy chekli elementlarning chegaralari bilan aniqlanadi. Kesiklar uzluksiz funksiya elementlarida tutashgan tugunlardagi uzluksiz kattaliklarning ko'rsatkichlari yordamida tuziladi.

Agar uzluksiz kattalik 2 yoki 3 o'lchamli doirada aniqlangan bo'lsa, ushbu doira uchburchak yoki to'rt burchak shaklidagi elementlarga ajratiladi, bu esa har qanday shakldagi jismni tadqiq qilish imkonini beradi. Bunday holda qamrab olingan funksiyalar tekis yoki egri

chiziqli yuzalar bilan aks ettiriladi, bu esa hisoblashning turli chegaraviy shartlarini hisobga olish imkonini beradi. Qamrab olingan qo'shni elementlardagi funksiyalarning izohlari turlicha bo'lishi mumkinligini hisobga olgan holda chekli elementlar usuli yordamida turlicha, shu jumladan anizotrop materiallardan tashkil topgan konstruksiyalarni ham tadqiq qilish mumkin [1-10].

### 2. Tadqiqot metodikasi

Shu maqsadda, birikmaning matematik modeli va tajribaviy tadqiqotlarni qiyoslash hamda o'xshashligini tekshirish maqsadida birikma zonalaridagi yog'och konstruksiyalar elementlari birikmasining miqdoriy modellash amalga oshirilgan. Namunalarni identifikatsiyalashni soddalashtirish uchun quyidagi shartli belgilar kiritilgan:


1. T-1 – davlatlararo DAST da mavjud amaldagi birikma;

2. T-2 –takomillashtirgan birikmali variant;

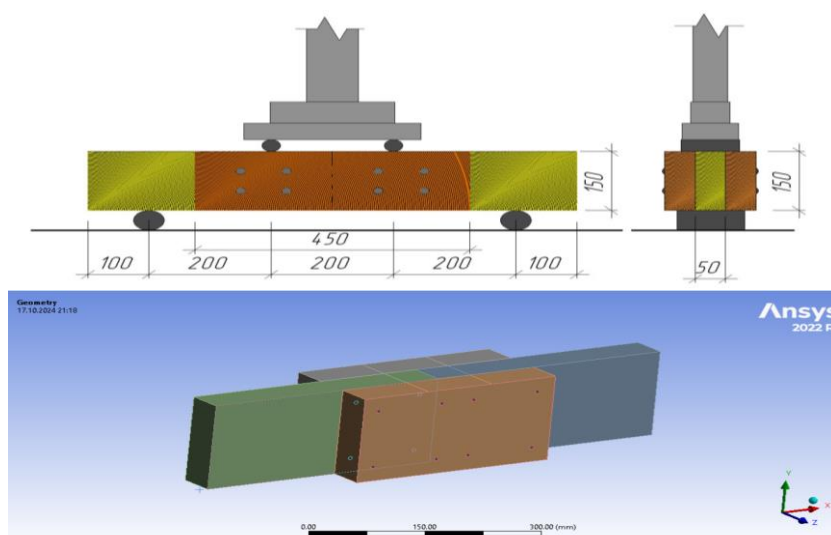
3. T-3 –takomillashtirgan birikmali variant.

Amaldagi T-1 seriyali birikmaning tajriba sinov ishlaridagi umumiy ko'rinishi va ANSYS Workbench dasturidagi hisobiy modeli 1-rasmda keltirilgan.

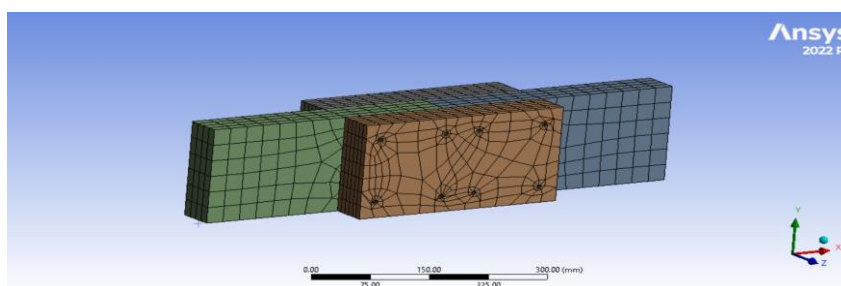
<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0397-2780>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0002-5824-3200>

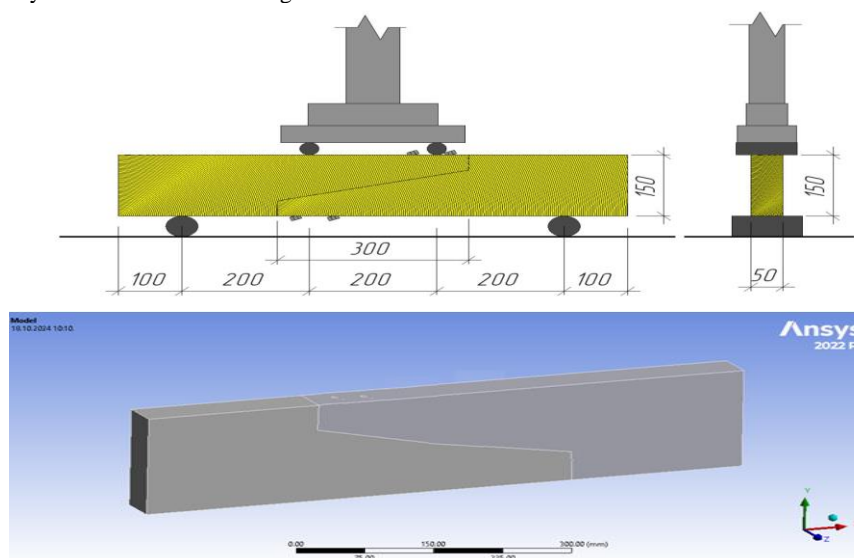




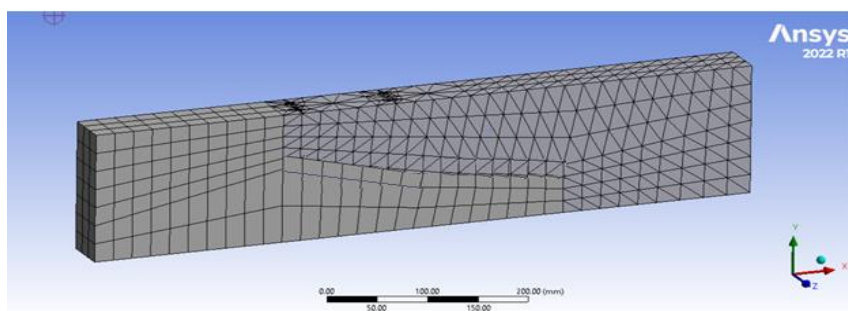
**1-rasm.** Amaldagi birikmaning ANSYS Workbench dasturidagi umumiy ko‘rinishi  
Amaldagi birikmani 25 mm o‘lchamdagi chiziqli chekli elementlarga ajratilgan ko‘rinishi 2-rasmda keltirilgan.



**2-rasm.** Birikmaning ANSYS Workbench dasturida chekli elementlarga ajratilgan ko‘rinishi  
Takomillashtirilgan T-2 seriyali birik-maning tajriba sinov ishlaridagi umumiy ko‘rinishi va ANSYS Workbench dasturidagi hisobiy modeli 3-rasmda keltirilgan.

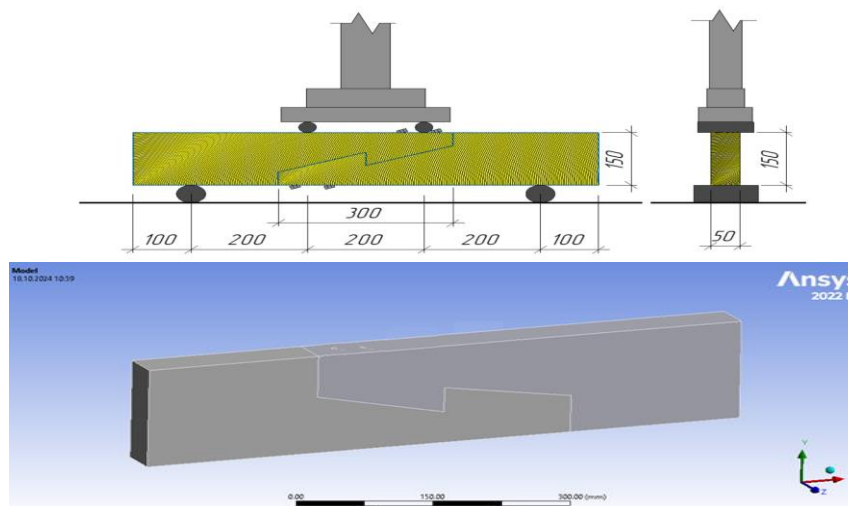


**3-rasm.** Birikmaning ANSYS Workbench dasturidagi umumiy ko‘rinishi  
T-2 seriyali birikmani 25mm o‘lchamdagi chiziqli chekli elementlarga ajratilgan ko‘rinishi 4-rasmda keltirilgan.



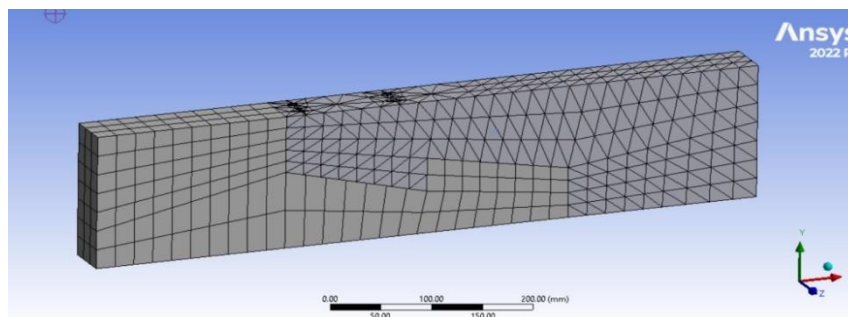
**4-rasm.** Birikmaning ANSYS Workbench dasturidagi chekli elementlarga ajratilgan ko‘rinishi

Takomillashtirilgan T-3 seriyali birik-maning tajriba sinov ishlaridagi umumiy ko‘rinishi va ANSYS Workbench dasturi-dagi hisobiy modeli 5-rasmda keltirilgan.



**5-rasm.** Birikmaning ANSYS Workbench dasturidagi umumiy ko‘rinishi

T-3 seriyali birikmani 25mm o‘lchamdagi chiziqli chekli elementlarga ajratilgan ko‘ri-nishi 6-rasmda keltirilgan.

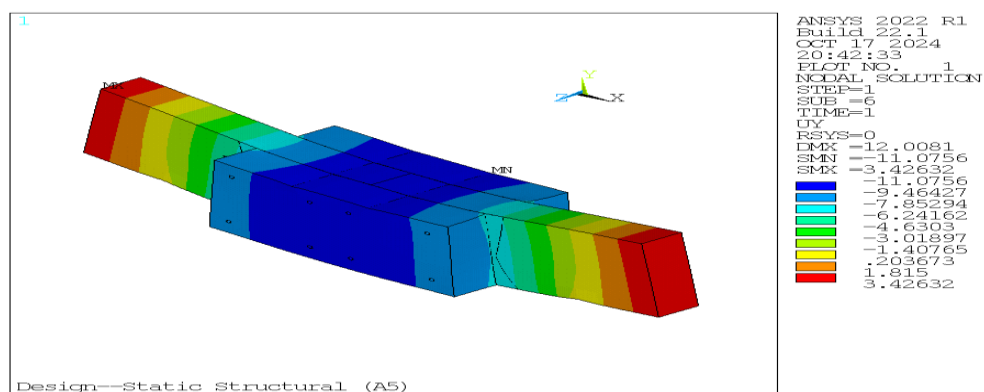


**6-rasm.** Birikmaning ANSYS Workbench dasturida chekli elementlarga ajratilgan ko‘rinishi

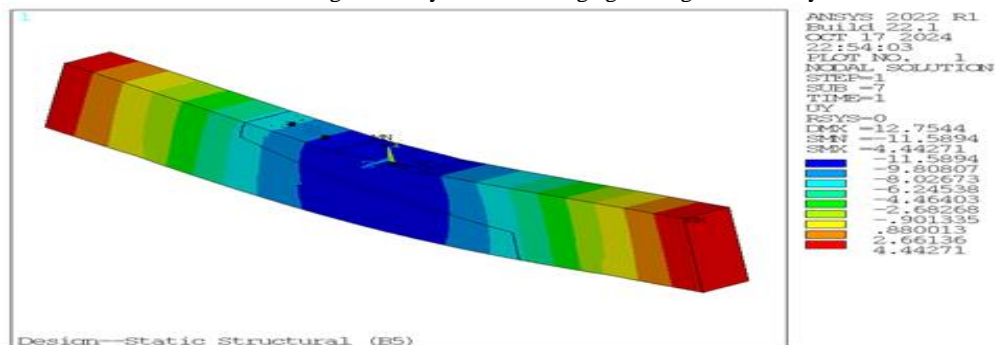
Hisoblash natijalari bo‘yicha deformatsiyalangan birikmalarning sxemalari, yog‘och normal va urinma kuchlanishlarning grafiklari tuzilgan. Ansys Workbench hisoblash kompleksida 3ta seriyadagi birikmalar uchun chiziqsiz o‘rnatishning ikkita masalasi shakllantirilgan.

Miqdoriy tadqiqotlar natijasida amaldagi T-1 va takomillashtirilib tavsiya qilinayotgan T-2, T-3 seriyalardagi yog‘ochdan yasalgan elementlariga egilishga qo‘yilgan yuklamadan maksimal siljishlar, normal va urinma kuchlanishlarga oid o‘ziga xos bog‘liqliklar 7, 8, va 9-rasmlarda keltirilgan.

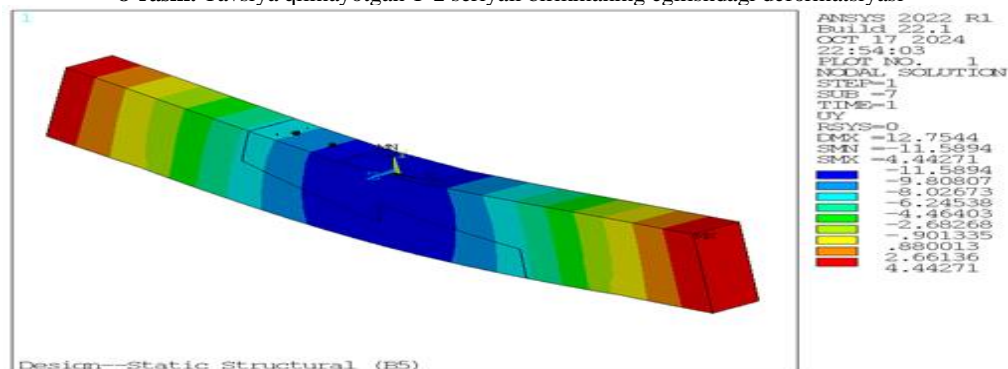




7-rasm. Amaldagi T-1 seriyali birikmaning egilishdagi deformatsiyasi



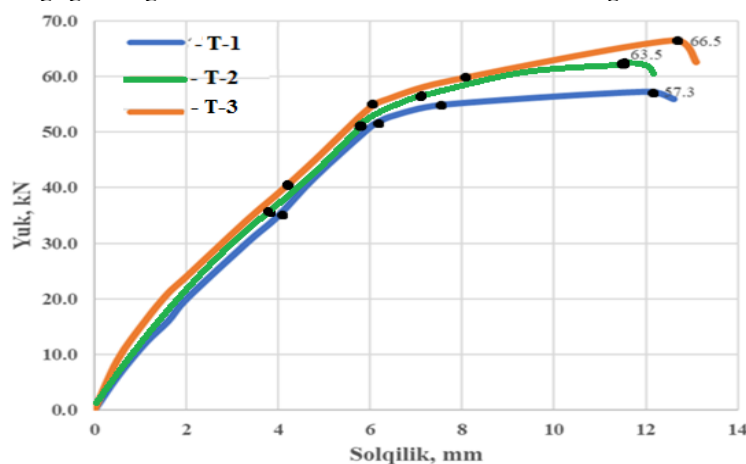
8-rasm. Tavsiya qilinayotgan T-2 seriyali birikmaning egilishdagi deformatsiyasi



9-rasm. Tavsiya qilinayotgan T-3 seriyali birikmaning egilishdagi deformatsiyasi

Olib borilgan hisoblash ishlarining natijalari hamda birikma to'rlari va seriyalarining egilishdagi va

kuchlanishdagi bir-biriga taqqoslangan diagrammasi 10, 11-rasmlarda keltirilgan.

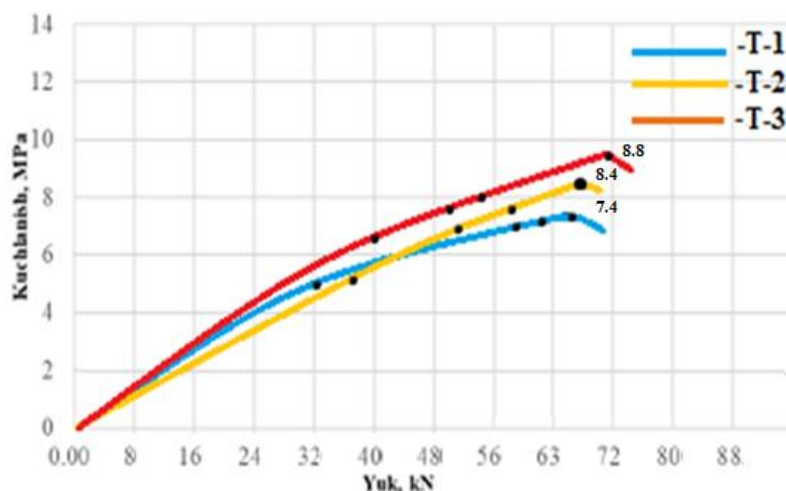


10-rasm. Amaldagi T-1 va tavsiya qilinayotgan takomillashtirilgan T-2, T-3 seriyali tadqiq qilinayotgan birikmalarning egilishdagi deformatsiyalanish grafiklari



Birikmalarning yuk ko'tarish qobiliyati hamda egilishdagi mustahkamligini tahlil qiladigan bo'lsak, ANSYS Workbench dasturida hisoblangan amaldagi T-1 seriyali birikmaga solishtirganda takomillashtirilib tavsiya

qilinayotgan T-2 seriyali birikmaning egilishdagi mustahkamligi 12.2%, tavsiya qilinayotgan T-2 seriyali birikma to'ridan T-3 seriyali birikmaning egilishdagi mustahkamligi 4.8% mustahkam ekanligi aniqlangan.



**11-rasm.** Amaldagi T-1 va tavsiya qilinayotgan takomillashtirilgan T-2, T-3 seriyali tadqiq qilinayotgan birikmalarning yuklama ta'siridagi kuchlanganlik grafiklari  
O'tkazilgan hisoblash ishlarining qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan.

**1-jadval**

**Kompyuter dasturida hisoblangan birikmalar bo'yicha olingan hisoblash natijalarining ko'rsatkichlari**

Seriya	Buzuvchi kuch (kN)				O'rtacha kuch (kN)	Kuchlanish (MPa)				O'rtacha ko'chlanish (MPa)
T-1	35	51	55	3	49.825	4.66	6.8	7.3	7.6	6.59
T-2	36	50	58	5	51.875	4.8	6.6	7.7	8.4	6.875
T-3	40	55	60	5	55.3	5.3	7.3	8	8.8	7.35

### 3. Xulosa

Birikmalarning egilishdagi kuchlanishlari hisoblangan amaldagi T-1 seriyali birikmaga nisbatan solishtirilganda, takomillashtirilib tavsiya qilinayotgan T-2 seriyali birikmaning egilishdagi yuk ta'siridagi kuchlanish qiymati 14.8% ga va T-2 seriyali birikma to'riga nisbatan T-3 seriyali birikmaning yuk ta'siridagi kuchlanish qiymati 3.2% ga mustahkamlik ko'rsatkichiga ega ekanligi aniqlangan.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

- [1] ГОСТ 16483.5-73. Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании вдоль волокон. –М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.
- [2] ГОСТ 16483.11-72. Древесина. Метод определения условного предела
- [3] прочности при сжатии поперек волокон. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.
- [4] ГОСТ 16483.10-73. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон. –М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.
- [5] ГОСТ 23431-79. Древесина. Строение и физико-механические свойства. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов.

[6] ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям - М.: ИПК Издательство стандартов, 1999

[7] Razzoqov S.J. Yog'och va plastmassa konstruksiyalari. O'quv qo'llanma. T., Akademiya. 2005. - 160 b.

[8] Razzoqov S.J. Ekologik sof qurilish konstruksiyalari. O'quv qo'llanma. -Тошкент, 2014 у. - 155 b.

[9] ҚМҚ 2.03.08-98. Ёғоч конструкциялар. Тошкент, 1998, - 79 б.

[10] Фёдоров В.С., Шавыкина М.В. Деревянные конструкции: Конспект лекций. Часть 1. - М.: МИИТ, 2003. - 72 с.

### Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

**Sobirjon Razzakov** Namangan davlat texnika universiteti  
E-mail: [davranberdakov7@gmail.com](mailto:davranberdakov7@gmail.com)

**Dauranbay Berdakov** Qoraqalpog' davlat universiteti  
E-mail: [davranberdakov7@gmail.com](mailto:davranberdakov7@gmail.com)



## The use of armogrunts structures to strengthen the railway roadbed

A.Kh. Abdujabarov<sup>1a</sup>, P.A. Begmatov<sup>1b</sup>, G.R. Khalfin<sup>1c</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** In this paper, we consider the technology of strengthening the railway roadbed with armogrunts structures, which make it possible to perceive significant tensile forces, which determines a lower sensitivity to uneven precipitation of the base, increased resistance to seismic influences. A variant of an armogrunts embankment on a steep rocky slope is proposed.

**Keywords:** earthwork, reinforced structures, embankment, geotextile, main site

## Применение армогрунтовых конструкций для укрепления земляного полотна железных дорог

Абдужабаров А.Х.<sup>1a</sup>, Бегматов П.А.<sup>1b</sup>, Хальфин Г.Р.<sup>1c</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В данной работе рассматривается технология укрепления земляного полотна железных дорог армогрунтовыми конструкциями, которые позволяют воспринимать значительные растягивающие усилия, что предопределяет меньшую чувствительность к неравномерным осадкам основания, повышенную устойчивость к сейсмическим воздействиям. Предложен вариант армогрунтовой насыпи на крутом скальном косогоре.

**Ключевые слова:** земляное полотно, армогрунтовые конструкции, насыпь, геотекстиль, основная площадка

### 1. Введение

Термин “армированный грунт” введен Вадалем (Франция) в 1966 году [1]. Армирование грунта в области транспортного строительства получает всё более широкое распространение, что обосновывается рядом преимуществ армогрунтовых конструкций. Эти конструкции демонстрируют способность воспринимать значительные растягивающие усилия, что, в свою очередь, предопределяет меньшую восприимчивость к неравномерным осадкам основания и повышенную устойчивость к сейсмическим нагрузкам. Данные характеристики объясняются более высокой гибкостью и лучшей адаптацией в грунтовой среде по сравнению с традиционными методами. [2, 5].

**Литературный анализ.** Арматурные полотнища формируют дополнительные связи между частицами грунта за счет фиктивного сцепления. В несвязных грунтах такое сцепление создается искусственно, в то время как в связных оно усиливается. Армирующие прослойки, взаимодействуя с грунтом, порождают перераспределение напряжений в массиве, что способствует передаче напряжений с перегруженных участков на соседние недогруженные, вовлекая их в работу. Это приводит к значительному увеличению устойчивости откосов земляных сооружений, которые могут быть выполнены под любой углом наклона, включая вертикальные. Также можно отмечать значительное снижение риска вибро-разжижения грунтов насыпей в результате землетрясений. Преимущества армогрунтовых конструкций заключаются в возможности их возведения в

разнообразных топографических условиях, включая ограниченные пространства, снижении или полном исключении “мокрых” процессов, таких как бетонирование, а также использовании местного грунта в качестве основного строительного материала, что позволяет избежать глубокого заглубления фундамента. [3].

Сравнительно низкая стоимость и уменьшение времени, затрачиваемого на строительство, обусловлены простотой технологического процесса, что практически исключает использование тяжелого сваебойного и крана, позволяя ограничиться небольшим количеством машин и механизмов, таких как бульдозеры, катки и самосвалы.

В качестве армирующих материалов применяются металл, геотекстиль, железобетон и другие, а также их комбинации. В последние годы наблюдается возрастающее использование геотекстильных материалов, полный ассортимент которых включает почти 200 наименований, производимых из нефтепродуктов (полиамиды, полиэфиры, полипропилен), древесной пульпы (вискоза, ацетат) и представленных в форме тканых, нетканых и сетчатых изделий [4]. В данном контексте предпочтение отдается материалам, характеризующимся высокой прочностью на растяжение, значительным модулем деформации (небольшим удлинением при разрушении), а также устойчивостью к колебаниям температур, воздействию минеральных кислот, щелочных сред различных типов и степеней засоленности, влаги и солнечной радиации [6, 7].

Стеклопластики, включая стеклоткани и стеклосетки, обладают наибольшей соответствием требованиям к армированию грунтов при вибрационных

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7097-5071>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0160-9814>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7217-8161>



нагрузках, если они покрыты различными защитными пленками, смолами и лаками. Проведенные совместно с Центральным научно-исследовательским институтом строительных сооружений (ЦНИИС) исследования продемонстрировали, что стеклопластики типа СПАП сохраняют свою прочность в условиях циклического замораживания (до минус 50 °С) и последующего оттаивания, в то время как потери прочности стеклотканей при увлажнении и воздействии кислотных и щелочных сред имеют тенденцию к уменьшению.

## 2. Методология исследования

Анализ множества землетрясений демонстрирует, что в верхней части насыпей образуется зона разуплотнения, что приводит к возникновению закругленной формы основной площадки, а также к появлению трещин, обрушению откосов и повреждению или разрушению верхнего строения путей.

Использование армированного грунта в земляном полотне укрепляет данную разрыхленную зону и одновременно повышает ее сцепление с зоной, подверженной повышенному уплотнению. Рекомендуется применять определенный вид армирования для насыпей, состоящих из песчаных и глинистых грунтов.

Предложенная схема включает обсыпку армируемых откосов слоем грунта с последующим укреплением травосеянием. В данном случае для удержания грунта, используемого в обсыпке, будет достаточно.

Армогрунтовые конструкции с более крутыми откосами могут дополнительно покрываться набрызгом бетона или слоем эпоксидной смолы, в частности, на подпорных стенах и крутых откосах насыпей в местах прохождения водопропускных труб. (рис. 1).

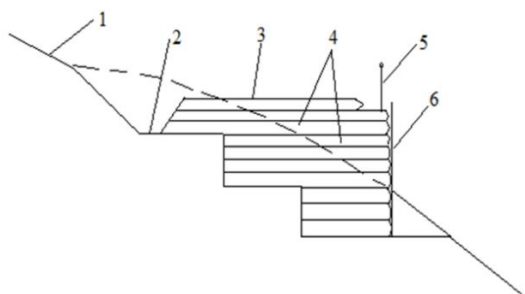


Рис. 1. Вариант конструкции армогрунтовой насыпи на крутом скальном косогоре:

1 – поверхность косогора; 2 – ювет-траншея; 3 – проезжая часть; 4 – армирующие полотнища; 5 – ограждение; 6 – защитное покрытие из набрызга бетона по заанкеренной сетке

При применении геотекстиля в роли обратного фильтра для предотвращения деформаций подтопленных откосов, помимо повышения его сейсмостойкости, возможно также достижение значительной экономии финансовых средств на объекте.

## 3. Заключение

В данной работе проанализированы материалы, используемые для армирования земляного полотна. Предлагаемая конструкция армированного грунта земляного полотна укрепляет разрыхленную зону и одновременно увеличивает ее сцепление с зоной повышенного уплотнения. В наибольшей степени требованиям армирования грунтов при вибрационных нагрузках отвечают стеклопластики, покрытые различными защитными пленками, смолами и лаками. Значительно можно сэкономить средства при использовании геотекстиля, в качестве обратного фильтра, а также предотвратить деформации подтопленных откосов.

## Использованная литература / References

- [1] Эрних Н.Б. Область применения армированного грунта // Транспортное строительство – 1981. 3. С54-55.
- [2] Казарновский В.Д. и др. Синтетические текстильные материалы в строительстве. – М.: Транспорт, 1984. С.10.
- [3] Технические указания по применению нетканых материалов для усиления земляного полотна // ЦП-4591. – М.: Транспорт, 1989. С5.
- [4] Переселенков Г.С., Песов А.И., Целиков Ф.И., Абдужабаров А.Х. Материалы и инженерные решения сейсмических армогрунтовых конструкций земляного полотна. //Транспортное строительство. – 1990. №4, С.6-8.
- [5] Арагао Ф. Т. С., Бернардес М. М. Анализ затрат на геосинтетические материалы в дорожном строительстве: исследование соотношения затрат и выгод. Журнал строительной инженерии и менеджмента, 2015, Том 141, № 6.
- [6] Макареми М., Сасанакул И., Эдил Т. Б. Влияние геосинтетических материалов на снижение воздействия дорог на окружающую среду. Наука об окружающей среде в целом, 2020, том 716.
- [7] Чен Г., Тан Л. Геосинтетика в гражданском строительстве и охране окружающей среды. Издательство "Нова Сайенс Паблшерс", 2010. 455 с.

## Информация об авторах/ Information about the authors

<b>Abdujabarov A.X.</b>	Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan <a href="https://orcid.org/0000-0001-7097-5071">https://orcid.org/0000-0001-7097-5071</a>
<b>Begmatov P.A.</b>	Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan <a href="https://orcid.org/0000-0003-0160-9814">https://orcid.org/0000-0003-0160-9814</a>
<b>Khalfin G.R.</b>	Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan <a href="https://orcid.org/0000-0002-7217-8161">https://orcid.org/0000-0002-7217-8161</a>



## A method for calculating the stability of a jointless track using the compression ratio of intermediate rail fasteners Pandrol Fastclip

G.R. Khalfin<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This article presents an improved method for assessing the stability of a jointless track, taking into account the compression ratio of the intermediate rail fasteners Pandrol Fastclip. The analysis of existing calculation methods, including the finite element method (FEM) and the simulation method is carried out. The introduced coefficient  $k_3'$  helps to increase the accuracy of calculations of the critical temperature force affecting the stability of the PS. The influence of this coefficient on the stability of the track using Pandrol Fastclip rail fasteners is estimated. This work is aimed at improving the reliability and safety of the railway track.

**Keywords:** Stability, evaluation, temperature force, coefficient, intermediate bonding, clamping force

## Метод расчета устойчивости бесстыкового пути с применением коэффициента прижатия промежуточных рельсовых скреплений Pandrol Fastclip

Хальфин Г.Р.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В данной статье представлен усовершенствованный метод оценки устойчивости бесстыкового пути, учитывающий коэффициент прижатия промежуточных рельсовых скреплений Pandrol Fastclip. Проведен анализ существующих методов расчета, среди которых метод конечных элементов (МКЭ) и метод имитационного моделирования. Введенный коэффициент  $k_3'$  способствует повышению точности расчетов критической температурной силы, влияющей на устойчивость БП. Оценено влияние данного коэффициента на стабильность пути с использованием рельсовых скреплений Pandrol Fastclip. Данная работа направлена на повышение надежности и безопасности железнодорожного пути.

**Ключевые слова:** устойчивость, оценка, температурная сила, коэффициент, промежуточное скрепление, усилие прижатия

### 1. Введение

Бесстыковой путь (БП) представляет собой критически значимый компонент современной железнодорожной инфраструктуры, который обеспечивает безопасное и эффективное передвижение поездов. Проблема устойчивости БП в условиях температурных колебаний, механических нагрузок и процессов старения материалов остаётся актуальной в научной области. Задача повышения безопасности, надежности и долговечности бесстыкового пути требует дальнейшего совершенствования методов его устойчивости [1].

В международной практике были разработаны различные методы оценки устойчивости БП, среди которых методы расчета равновесия рельсошпальной решетки, метод конечных элементов (МКЭ), имитационное моделирование и ряд других. Однако большинство из этих методов не учитывает влияние таких факторов, как точность прижатия рельсовых скреплений, что ограничивает их практическое применение [4, 10].

Определяющим фактором, непосредственно влияющим на устойчивость бесстыкового пути, является корректная установка и оценка состояния рельсовых скреплений, включающих в себя параметры прочности, упругости и прижимного усилия. Современные исследования, а также новые подходы к моделированию с применением вычислительных комплексов, создают возможности для более эффективной оценки работы рельсовых скреплений на стадии проектирования [3].

Цель данного исследования заключается в усовершенствовании расчетных методов устойчивости бесстыкового пути (БП) с учетом коэффициента прижатия промежуточных рельсовых скреплений системы Pandrol Fastclip. Указанное усовершенствование обеспечит повышение точности прогнозирования устойчивости пути в различных эксплуатационных условиях. Для реализации данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов расчета устойчивости БП и их ограничений.

2. Разработать новый коэффициент для учета прижатия промежуточных рельсовых скреплений

 <https://orcid.org/0000-0002-7217-8161>





Pandrol Fastclip и интегрировать его в расчетные формулы.

3. Оценить влияние нового коэффициента на критическую температурную силу и устойчивость бесстыкового пути.

Предложенное исследование будет способствовать совершенствованию расчетных методик в области железнодорожного строительства и эксплуатации, что является критически важным для повышения безопасности и устойчивости бесстыкового пути.

## 2. Методология исследования

Для анализа устойчивости бесстыкового пути с учетом коэффициента прижатия промежуточных рельсовых креплений применялись методы, находящиеся в ряде классических и современных научных работ [2-5, 9]. Основой для проведения расчетов послужили дифференциальные уравнения, описывающие устойчивость рельсошпальной решетки, с добавлением учета продольных усилий и их сопротивлений в местах крепления [7]. В расчетах использовалась методология, предложенная С.П. Першином [1, 6], которая была модифицирована с учетом степени прижатия креплений типа Pandrol Fastclip. Данная модификация заключалась во введении нового коэффициента прижатия, что позволяет более точно оценить воздействие усилия прижатия креплений на устойчивость пути.

Параметры, использованные в расчете, включали следующие элементы: характеристики рельсов (типы Р50 и Р65) с соответствующими значениями параметров  $A$  и  $\mu$ ; уклон начальной неровности железнодорожного пути  $i$  (2‰ для прямых участков и 3‰ для кривых); коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$ , определяющие сопротивление балласта и нагрузку на шпалы; а также коэффициенты  $k_3$  и  $k_3'$ , характеризующие степень затяжки болтов и усилие прижатия. Моделирование позволило получить качественные и количественные характеристики, необходимые для анализа различных типов рельсовых креплений. С целью уточнения зависимости коэффициента  $k_3'$  от усилия прижатия креплений Pandrol Fastclip была разработана усовершенствованная модель, учитывающая нелинейные эффекты и переходные зоны упругости [8].

## 3. Результаты исследования

Проведенные вычисления позволили установить критическую температурную силу  $N_3$ , которая вызывает выброс бесстыкового пути в горизонтальной плоскости, с использованием следующей формулы:

$$N_3 = \frac{A}{i\mu} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3'$$

Графический анализ зависимости коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3'$  продемонстрировал следующее: увеличение сопротивления балласта вызывает рост коэффициента  $k_1$ , что оказывает положительное влияние на устойчивость пути (рис. 1); усилие прижатия креплений имеет прямое воздействие на коэффициент  $k_3'$  и, соответственно, на общую устойчивость пути (рис. 2 и рис. 3).

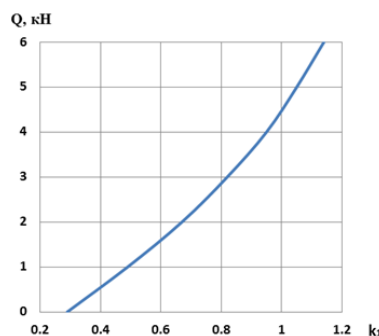


Рис. 1. Зависимость коэффициента  $k_1$  от сопротивления балласта

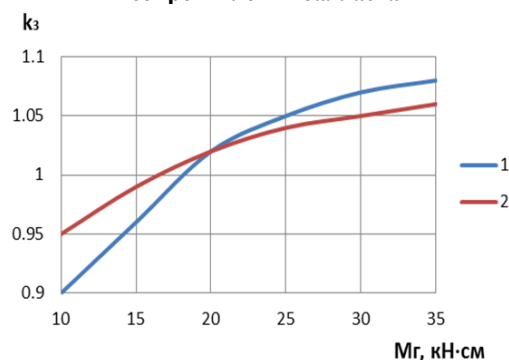


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $k_3$  от усилия затяжки гаек болтовых креплений: 1 – при уклоне неровности в прямом пути  $i=2\text{‰}$ , 2 – при уклоне неровности на кривой  $i=3\text{‰}$

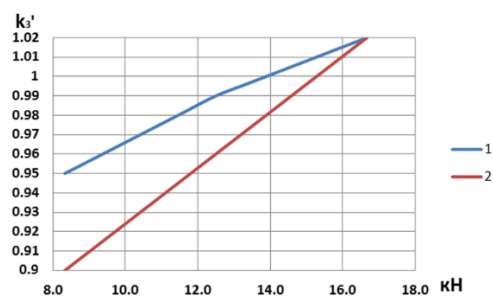


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $k_3'$  от усилия прижатия креплений Pandrol Fastclip: 1 – при уклоне неровности в прямом пути  $i=2\text{‰}$ , 2 – при уклоне неровности на кривой  $i=3\text{‰}$

## 4. Заключение

Увеличение усилия прижатия креплений Pandrol Fastclip способствует повышению критической силы  $N_3$ , что в свою очередь значительно улучшает устойчивость бесстыкового пути. В рамках исследования предложен усовершенствованный метод расчета устойчивости бесстыкового пути, который включает коэффициент прижатия промежуточных рельсовых креплений Pandrol Fastclip. Данный метод позволяет более точно учитывать температурные изменения и механические нагрузки, оказывающие влияние на устойчивость рельсов. Практическая значимость данной работы заключается в оптимизации проектирования и эксплуатации рельсовых креплений, что способствует повышению безопасности движения поездов и снижению затрат на техническое обслуживание.



## Использованная литература / References

[1] Першин С.П. Методы расчета устойчивости температурно-напряженного пути и способы ее повышения // дисс. канд. техн. наук: 05.22.06: защищена 12.03.1959 : тв. 25.11.1959 / Першин Сергей Петрович.- М., 1959.

[2] Вериго М. Ф. Новые методы в установлении норм устройства и содержания бесстыкового пути.- М: Интекст, 2000. - 184 с.

[3] Вериго М. Ф. Динамические модели устойчивости бесстыкового пути // Железные дороги мира. 1994. № 10. С. 3-9.

[4] Новакович В.И., Карпачевский Г.В. О методике расчета рельсов бесстыкового пути на прочность // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 7. С. 25-26.

[5] Новакович В.И., МIRONENKO Е.В., ХАДУКАЕВ Н.А. Влияет ли масса шпалы на сопротивление сдвигу в балласте? // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 3. С. 34-37.

[6] Першин С.П. Методы расчета устойчивости бесстыкового пути // Труды МИИТ. М., 1962. № 147. С. 28-96.

[7] Овчинников, А. Н. Экспериментальные исследования работы рельсовых скреплений "Pandrol Fastclip" / А. Н. Овчинников, А. Ф. Расулев, З. Т. Фазилова // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2013. – Т. 6. – № 6(6). – С. 16-18.

[8] Лесов К.С., Хальфин Г.Р. Расчет и оценка устойчивости рельсовой плети бесстыкового пути для условий Узбекистана // Journal of Advanced Research and Stability Special Issue, April 2022, p. 339-343.

[9] Хальфин Г.Р. Измерение усилий нажатия клемм промежуточных скреплений // Журнал "Проблемы архитектуры и строительства". – №.3, (1-кисм) 2021. – С. 100-102.

[10] Khalfin G.R. Clamping force of intermediate fasteners and their determination // JournalNX- A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal Vol. 7, Issue 5, May 2021 p. 233-236.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Хальфин  
Г.Р.**

Ташкентский государственный  
транспортный университет  
<https://orcid.org/0000-0002-7217-8161>



## Modelling of longitudinal forces in a rail track to assess the stability of a track without joints

A.A. Bondarenko<sup>1</sup><sup>a</sup>, K.S. Lesov<sup>2</sup><sup>b</sup>, T.A. Salakhov<sup>1</sup>, M.K. Kenjaliev<sup>2</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Samara State Transport University, Samara, Russia

<sup>2</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The paper considers modelling of longitudinal forces in the rail track of a trackless track taking into account temperature and dynamic factors. The influence of rolling stock braking on track stability is analysed, including additional longitudinal loads caused by changes in rail temperature and the influence of traction currents. Mathematical models describing the formation of longitudinal forces, their influence on track deformations and conditions of safe operation are developed. Methods for measuring and controlling longitudinal forces are presented, as well as recommendations for monitoring and preventing critical loads that can lead to loss of stability.

**Keywords:** longitudinal forces, trackless track, temperature stresses, train braking, track stability, rail heating, traction currents, modelling

## Моделирование продольных сил в рельсовой плети для оценки устойчивости бесстыкового пути

А.А. Бондаренко<sup>1</sup><sup>a</sup>, К.С. Лесов<sup>2</sup><sup>b</sup>, Т.А. Салахов<sup>1</sup>, М.К. Кенжалиев<sup>2</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Приволжский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

<sup>2</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В статье рассматривается моделирование продольных сил в рельсовой плети бесстыкового пути с учётом температурных и динамических факторов. Проанализировано влияние торможения подвижного состава на устойчивость пути, включая дополнительные продольные нагрузки, обусловленные изменением температуры рельсов и воздействием тяговых токов. Разработаны математические модели, описывающие формирование продольных усилий, их влияние на деформации пути и условия безопасной эксплуатации. Представлены методики измерения и контроля продольных сил, а также даны рекомендации по мониторингу и предотвращению критических нагрузок, способных привести к потере устойчивости.

**Ключевые слова:** продольные силы, бесстыковой путь, температурные напряжения, торможение поезда, устойчивость пути, нагрев рельсов, тяговые токи, моделирование

### 1. Введение

Бесстыковой путь широко применяется в железнодорожной инфраструктуре благодаря повышенной надёжности, снижению шума и вибрации, а также сокращению эксплуатационных затрат. Однако обеспечение его устойчивости требует комплексного анализа продольных усилий, возникающих под воздействием различных факторов — от температурных напряжений до торможения и действия тяговых токов [1-3].

В мировой научной литературе значительное внимание уделяется температурным напряжениям в рельсах и их влиянию на устойчивость пути [2, 4-6]. В работах [7, 8] подчёркивается необходимость контроля силы угона, возникающей при торможении, и минимального сопротивления продольному перемещению рельсов. Исследования также показывают, что термомеханические и

электродинамические факторы существенно влияют на продольную устойчивость пути [3, 9, 10].

Тем не менее, комплексный учёт всех источников продольных нагрузок при проектировании и эксплуатации бесстыкового пути остаётся актуальной задачей [11]. Особенно это важно в условиях высоких температур, значительных продольных градиентов и эксплуатации длинносоставных поездов.


Предмет исследования: продольные силы, возникающие в рельсовой плети бесстыкового пути, и их влияние на устойчивость железнодорожной инфраструктуры.

Цель исследования — разработка и верификация математических моделей продольных сил с учётом температурных и динамических воздействий, а также формирование рекомендаций по обеспечению устойчивости пути.

Задачи исследования:

- описать физические принципы возникновения продольных сил;
- исследовать деформации пути под воздействием продольных нагрузок;

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0504-4670>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9434-0713>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4622-5937>



- разработать математические модели для расчёта продольных сил;
- предложить методики измерения и контроля;
- сформулировать рекомендации по обеспечению устойчивости пути.

## 2. Методология исследования

В основе исследования — аналитические и численные методы моделирования. Построены математические модели, описывающие продольные силы, вызванные торможением, тепловыми эффектами от тягового тока и изменениями температуры окружающей среды [2, 3, 9, 10]. Использовались данные о тепловых характеристиках рельсов по нормативным документам [1, 12, 13].

Получена зависимость дополнительного нагрева рельсовой плети  $\vartheta_t$  от протекающего в ней тягового тока:

$$\vartheta_t = \frac{I^2 R_0}{k - I^2 R_0 \alpha} \left[ I - e^{-\left(\frac{t}{C}\right)(k - I^2 R_0 \alpha)} \right] + \vartheta_0 e^{-(t/C)(k - I^2 R_0 \alpha)} \quad (1)$$

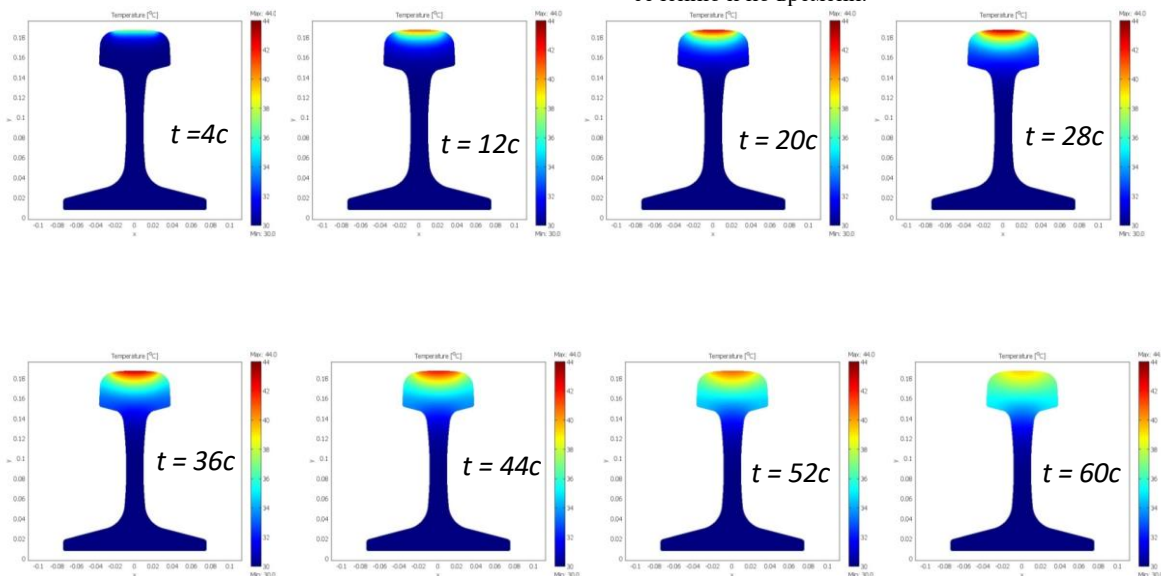


Рис. 1. Эпюра нагрева головки рельса

Моделирование выполнялось методом конечных элементов (МКЭ), с учётом условий закрепления рельсов, неоднородности основания и градиентов температурных и механических воздействий [6]. Верификация моделей проведена на основе натурных наблюдений [3, 14].

## 3. Результаты исследования

Моделирование показало, что совокупное действие тепловых и тормозных воздействий может привести к превышению допустимых продольных усилий, установленных нормативами [1, 13]. Так, локальный нагрев рельсов до 10–15 °C сверх фона может увеличить продольное напряжение на 10–25 % [9, 10].

Вопрос учета дополнительных источников нагрева рельсовых плетей и эквивалентных температур ( $\Delta t_{\text{н}}$ ) из-за наличия не подбитых шпал (неравноупругого основания) чрезвычайно важен, т.к. они оказывают определяющее влияние на расчет температурного

$$\vartheta_t = \frac{I^2 R_0}{k \alpha} (I - e^{-t/C/k}) + \vartheta_0 e^{-t/C/k} \quad (2)$$

где  $I$  – величина потребляемого тока;  
 $R_0$  – сопротивление рельсовой нити при начальной температуре  $t = 0$  °C;  
 $e$  – основание натурального логарифма;  
 $k$  – теплоотдача со всей поверхности рельса;  
 $t$  – текущее время;  
 $C$  – теплоемкость рельса;  
 $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления;  
 $t_0$  – начальная температура рельсовой плети,  $t_0 = 20$  °C (по нормативу).

Дополнительный нагрев рельсовых плетей  $\Delta t^0$  от торможения подвижного состава определен выражением:

$$\Delta t^0 = \frac{\int_0^{\partial} q(x) dx}{\mu(2\pi - \partial)} \quad (3)$$

где  $q(x)$  – удельный тепловой поток в зоне контакта колеса и рельса;  $\mu$  – коэффициент теплоотдачи;  $\partial$  – расстояние между осями колесных пар.

На рис. 1 изображен процесс нагрева рельса по сечению и по времени.

интервала закрепления рельсовых плетей. В свою очередь устойчивость бесстыкового пути в процессе эксплуатации будет тем выше, чем более широким будет температурный интервал закрепления рельсовых плетей за счет увеличения верхней границы этого интервала. Если фактические температуры рельсовых плетей выходят за пределы температурного интервала закрепления, то это накладывает ограничения на выполнения некоторых видов путевых работ, связанных с ослаблением сопротивлений перемещений рельсошпальной решетки как в продольном, так и в поперечном оси пути направлении. В то же время повышение величины верхней границы температурного интервала позволяет снять часть ограничений на выполнение путевых работ при высоких температурах.

Прежде чем более подробно исследовать степень воздействия продольных сил во время движения подвижного состава, стоит начать с физического смысла понятия «продольные силы». Они представляют собой силы, действующие в направлении движения поезда, которые возникают из-за трения колес поезда о рельсы





и непосредственного воздействия воздушной среды. Продольные силы могут иметь различную природу и проявляться на разных участках пути [8]. Они

определяются несколькими физическими принципами, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Продольные силы, возникающие при движении поездов

Вид продольной силы	Описание
Угол наклона пути	При движении по наклонному пути возникает сила тяжести, которая направлена вниз по склону. Эта сила создает продольные силы, которые действуют на поезд. Если путь имеет положительный угол наклона (восходящий склон), то сила тяжести придает движению поезда дополнительную энергию. Если же путь имеет отрицательный угол наклона (нисходящий склон), то сила тяжести будет препятствовать движению и требовать дополнительных усилий от подвижного состава
Скорость движения	Влияние скорости на возникновение продольных сил связано с инерцией. При нарастании скорости поезда увеличивается его кинетическая энергия, что приводит к повышению сил инерции, возникающих при изменении скорости. При движении по наклонному пути эти силы могут добавиться к силам, связанным с углом наклона, и привести к увеличению или уменьшению продольных сил, в зависимости от направления движения и векторов этих сил
Характеристики подвижного состава	Масса и различные параметры подвижного состава, такие как сопротивление движению и коэффициент трения, также влияют на возникновение продольных сил. Большая масса требует большей силы тяги для преодоления трения и сопротивления движению. Величина трения в свою очередь зависит от характеристик пути и состояния колес

При увеличении длины поезда растет разница во времени срабатывания тормозов и, соответственно, увеличивается продольная сила в пути движения подвижного состава. Из-за прерывистого торможения тормозной путь для длинносоставных поездов также увеличивается. В случае экстремальных ситуаций значительная величина продольной силы может привести к сходу с рельсов или серьезным повреждениям поезда. Кроме того, негативное воздействие продольных сил приводит к увеличенному износу вагонов. Чтобы избежать излишних показателей продольных сил, необходимо тщательно контролировать тормозную систему поезда.

Если путь не надежно защищен от угона с помощью промежуточных рельсовых скреплений, обеспечивающих нормативное прижимное усилие или противоугонами на участках с деревянным основанием и костыльным соединением, то в рельсах могут возникать существенные продольные силы, что при определенных условиях может привести к серьезному нарушению устойчивости рельсовой конструкции. Однако наличие крепких промежуточных скреплений практически полностью исключает возможность угона, что, соответственно, уменьшает вероятность возникновения влияющих дополнительных сил от тормозящего поезда.

Сила угона пути при скорости 10 км/ч может достигать 33,4 кН, тогда как при 80 км/ч снижается до 13,7 кН [7]. Минимальное допустимое сопротивление рельса продольному перемещению должно составлять не менее 3,86 кН/м [8]. При снижении сопротивления возрастает риск сдвига рельсовой плети и потери устойчивости пути.

Особое внимание уделено распределению тормозных усилий в длинносоставных поездах. Несинхронность срабатывания тормозов приводит к неравномерному распределению продольных напряжений. Также важным фактором является состояние скреплений и устойчивость опоры шпал на

балластном основании, особенно в зонах переходов [15-17].

Взаимосвязь между деформацией пути и продольными силами, возникающими при прохождении поезда, является важным аспектом для обеспечения безопасности и эффективности железнодорожного транспорта.

Изучение взаимосвязи между деформацией пути и продольными силами включает анализ физических и математических моделей, экспериментальные исследования и использование компьютерных моделирований. Виды деформаций, возможные при прохождении поезда, включают продольное расширение, продольное сжатие, продольные и поперечные изгибы и т. д. Моделирование и анализ этих деформаций позволяет определить величину и направление продольных сил и оценить их влияние на путь и подвижной состав.

## 4. Заключение

1. Комплексное моделирование продольных сил в рельсовой плети обеспечивает более точную оценку устойчивости бесстыкового пути.

2. Дополнительный нагрев от тяговых токов и торможения требует учёта при расчёте температурных интервалов закрепления.

3. Рекомендуется внедрение мониторинговых систем для контроля продольных усилий в реальном времени.

4. Повышение прочности рельсошпальных скреплений и однородности балластного основания снижает риск угона пути.

5. Необходимо учитывать взаимодействие тормозных систем длинносоставных поездов и механические характеристики основания.

6. Результаты моделирования могут быть использованы для актуализации нормативов закрепления рельсов и оптимизации эксплуатационных решений.



## Использованная литература / References

- [1] СП 119.13330.2024. СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. — М.: Минстрой России, 2024.
- [2] Коган А. Я. Температурные напряжения в рельсах. — М.: Наука, 2015. — 187 с.
- [3] Wang X., Chen Z., Liu Q. Coupling effect of electric heating and braking // *Transportation Safety and Environment*. — 2021. — Vol. 3, No. 1. — P. 12–20.
- [4] Иванов П. С., Ключко В. А. Природа усталостных дефектов рельсовых плетей бесстыкового пути // *Техническая механика НАНУ*. — 2000. — № 1.
- [5] Zhang Y., Li M., Wang D. Thermal behavior of continuous welded rail // *Journal of Rail Transport Planning & Management*. — 2020. — Vol. 14.
- [6] Kim Y., Lee H. Numerical analysis of longitudinal track behavior under thermal load // *Engineering Structures*. — 2019. — Vol. 180. — P. 316–325.
- [7] Каравацкий Б. Л., и др. Исследование угона пути при торможении. — М.: Транспорт, 2018. — 132 с.
- [8] Ершов В. В. Устройство бесстыкового пути при отступлениях от норм содержания // *Путь и путевое хозяйство*. — 2008. — № 3. — С. 13–15.
- [9] Bondarenko A. A., Wolow D. B., Gerber U., Fengler W. Der Einfluß des Antriebsstromes auf die zusätzliche Erwärmung des Schienenstrangs // *Der Eisenbahningenieur*. — 2007. — Nr. 5. — S. 19–20.
- [10] Bondarenko A. A. Der Einfluß des Bremsens langer Züge auf die Schienenerwärmung // *Der Eisenbahningenieur*. — 2009. — Nr. 4. — S. 37–41.
- [11] Лесов К.С., Хальфин Г.Р. Расчет и оценка устойчивости рельсовой плети бесстыкового пути для условий Узбекистана. // *Journal of Advanced Research and Stability Special Issue*, April 2022, p. 339-343.
- [12] Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22.12.2017 г. № 2706р. — Доступ через СПС «АСПИЖТ».
- [13] ОАО «РЖД». Методические указания по обеспечению устойчивости бесстыкового пути. — М., 2021.
- [14] Ковенькин Д. А. Исследование воздействия суммарных боковых сил на элементы верхнего строения

пути при вписывании экипажа в кривые участки пути // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации российских железных дорог: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 10–11 окт. 2007 г. — Т. 1. — С. 23–26.

[15] Парахненко И. Л. Анализ сил взаимодействия в контакте «колесо–рельс» при различных трибологических вариантах // *Транспорт Урала*. — 2019. — № 2 (61). — С. 54–57.

[16] Лесов К.С., Хальфин Г.Р. Диагностическое средство для косвенного определения усилия нажатия клемм крепления pandrol fastclip. // *Научный журнал “Universum: технические науки”* - №6 (87), 2022. — С. 13-15.

[17] Першин С. П. О сопротивлении балласта сдвигу и способах усиления температурно-напряженного пути против потери устойчивости // *Сб. науч. тр. / МИИТ*. — 1960. — Вып. 111. — С. 126–136.

## Информация об авторах/ Information about the authors

<b>Бондаренко Алексей Алексеевич</b>	Приволжский государственный университет путей сообщения, Доктор технических наук, профессор, e-mail: <a href="mailto:bondarenko@infotrans-logistic.ru">bondarenko@infotrans-logistic.ru</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-0504-4670">https://orcid.org/0000-0003-0504-4670</a>
<b>Лесов Кувандык Сагинович</b>	Ташкентский государственный транспортный университет, Кандидат технических наук, профессор, e-mail: <a href="mailto:kuvandik@mail.ru">kuvandik@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0000-0002-9434-0713">https://orcid.org/0000-0002-9434-0713</a>
<b>Салахов Талгат Альбекович</b>	Приволжский государственный университет путей сообщения, аспирант, e-mail: <a href="mailto:talgatsalahov@bk.ru">talgatsalahov@bk.ru</a>
<b>Кенжалиев Мухамедали Казбек угли</b>	Ташкентский государственный транспортный университет, PhD, и.о. доцента, e-mail: <a href="mailto:mkenjaliev@mail.ru">mkenjaliev@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-4622-5937">https://orcid.org/0000-0003-4622-5937</a>

# Deformation characteristics of polypropylene thread (p-1) for synthetic slings

**B.K. Rakhmanov<sup>1</sup>, S.Zh. Razzakov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ferghana State Technical University, Ferghana, Uzbekistan

<sup>2</sup>Namangan State Technical University, Namangan, Uzbekistan

**Abstract:** The article presents the deformation characteristics of polymeric materials, in particular, synthetic threads for lifting slings, which are used in rigging. Influence of temperature on the characteristics of deformation and strength properties of synthetic fibers. Relationships between the characteristics of deformation properties and molecular processes occurring in polyolefin threads are revealed. The characteristics of multifilament threads, from which synthetic slings are made, as well as deformation and mechanical characteristics, are given.

**Keywords:** rigging, lifting devices, textile slings, synthetic fibers, deformation characteristics, temperature

## Деформационные характеристики полипропиленовой нити (пп-1) для синтетических строп

**Рахманов Б.К.<sup>1</sup>, Раззаков С.Ж.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ферганский государственный технический университет, Фергана, Узбекистан

<sup>2</sup>Наманганский государственный технический университет, Наманган, Узбекистан

**Аннотация:** В статье приведены деформационные характеристики полимерных материалов, в частности, синтетических нитей для грузозахватных строп, которые используются в такелажных работах. Влияние температуры на характеристики деформационных и прочностных свойств синтетических волокон. Выявлены взаимосвязи между характеристиками деформационных свойств и молекулярными процессами, протекающими в полиолефиновых нитях. Дана характеристика мультифиламентных нитей, из которых изготавливают синтетические стропы, а также деформационные и механические характеристики.

**Ключевые слова:** такелажные работы, грузозахватные приспособления, текстильный строп, синтетические волокна, деформационные характеристики, температура

### 1. Введение

Различные природно-климатические условия, в которых протекают строительные процессы начинают

воздействовать на агрегатное состояние синтетических лент, канатов и составляющих нитей. Для всех синтетических материалов с изменением температуры окружающей среды характерны условные переходы [1]. В таблице 1. показан диапазон характерных температур для различных материалов.

**Таблица 1**

**Диапазон характерных температур для различных материалов**

№ п/п	Материал	Т хрупкости (морозостойкость)	Т°С* рабочая (не более)	Т°С размягчения	Т°С плавления
1	2	3	4	5	6
1	Полиамид	-50	100	170	215
2	Полиэфир	-60	120	225	260
3	Полипропилен	-40	80	140	170
4	Полиэтилен	-70	80	120	150
5	Арамид	-70	80	120	150
6	Высокомолекулярный полиэтилен	-70	250	-	450-500

Не углубляясь в физико-химические свойства и полимерные превращения рассмотрим, как это отразится на готовой текстильной ленте (стропе):

– кристаллическое состояние – при низких температурах строп будет хрупкий и жесткий, пользоваться ей по назначению невозможно;

– нормальное состояние – интервал температур, в которых лента (канат) может нормально эксплуатироваться;

– размягчение – при дальнейшем нагревании строп начинает вытягиваться под нагрузкой, он растянется (как жевательная резинка) и частично или полностью потеряет свои свойства и это будет «точкой не возврата»;

– плавление – если температура продолжает расти, синтетическое вещество начнет плавиться и потом испаряться или разрушаться, тогда это будет тепловая деструкция.



Превышение данных температурных условий сокращает срок службы и снижает эксплуатационные характеристики строп. При этом рабочая температура всегда должна быть ниже температуры размягчения.

В условиях Узбекистана строительство осуществляется в температурных диапазонах от  $-20^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$ , при этом различные материалы под прямыми лучами солнца разогреваются до  $70-80^{\circ}\text{C}$ . При интенсивном использовании синтетических текстильных строп с различными соединительными элементами, концевиками, роликами, валами и другими поверхностями соприкосновения следует учитывать данные условия, как действие внешних сил трения [2,3]. Помимо действия внешних сил трения имеет место действие внутренних сил трения – это внутреннее трение волокон друг о друга, возникающее при протяжке канатов [4].

**Литературный анализ.** Многие ученые, занимающиеся исследованием механических свойств полимерных материалов, придавали огромное практическое и теоретическое значение вопросам, связанным с изучением остаточной деформации при растяжении полимерных материалов [5]. Несомненный интерес представляют данные о восстановительных свойствах синтетических волокон и нитей, представленные в известных книгах Г.Н. Кукина, А.Н. Соловьева, А.Н. Коблякова, К.Е. Перепёлкина [6]. Среди синтетических волокон наиболее динамично развивается производство полипропиленовых (ПП) волокон и нитей, которые нашли широкое применение как для изготовителей изделий технического назначения, так и в производстве товаров массового потребления. Это объясняется доступностью исходного сырья, простотой технологии получения волокон, достаточно высокими эксплуатационными

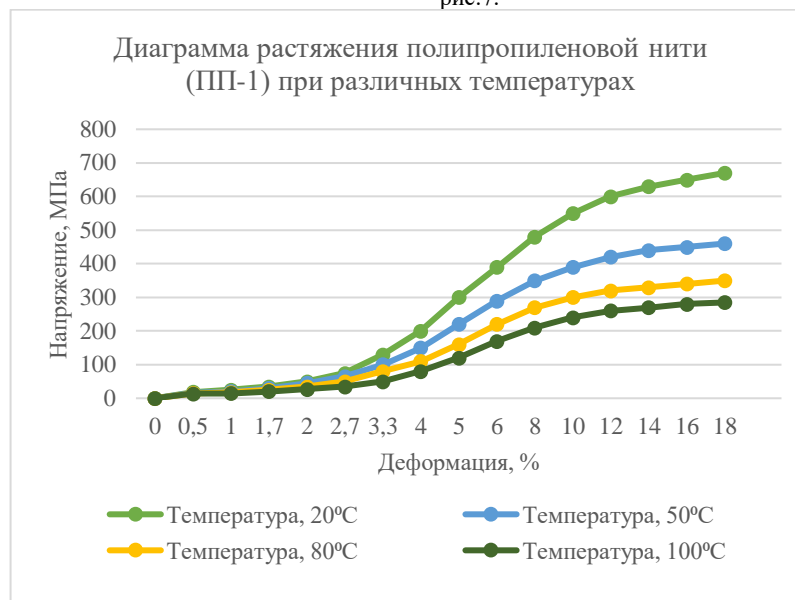
характеристиками изделий, выработанных на основе ПП волокон и нитей [7].

Высокопрочные высокомодульные полипропиленовые нити находят применение в технике и медицине и в строительстве для изготовления стропов, канатов, шнуров, верёвок, рыболовных лесок, хирургических шовных нитей, для армирования эластомеров. Мировое производство указанных в табл. 1. видов химических волокон в 2020 г. по сравнению с 2010 г. возросло на 3,5%. Первое место по производству химических волокон в мире занял Китай - 6,7 млн. тонн, на втором месте США - 4,2 млн. тонн (+ 5,9%), на третьем месте Тайвань - 3,2 млн. тонн.

Задачи, которые решаются в данной части работы, состоят в выявлении взаимосвязи между характеристиками деформационных свойств и молекулярными процессами, протекающими в полиолефиновых нитях. Особое внимание уделено исследованию остаточного компонента деформации, как одной из основных характеристик стабильности размеров материалов после их механического нагружения.

Объектом исследования являлась высокоориентированная ПП нити промышленного производства (ПП-1) из марки полипропилена ППFR-173Н и FR-170 Н [7]. Исследования механических свойств и структурных процессов проводились при температурах  $T=20, 50, 80, 100^{\circ}\text{C}$ , находящихся выше температуры стеклования и значительно ниже температуры плавления. Рост усадочных деформаций у этой нити наблюдается при  $T>80^{\circ}\text{C}$ . При  $T=100^{\circ}\text{C}$ ,  $\varepsilon_y \approx 1,5\%$ , тем не менее и при этой температуре проводились исследования деформационных процессов.

Диаграммы растяжения нити ПП-1, полученные при  $V=100$  мм/мин, и  $T=20, 50, 80, 100^{\circ}\text{C}$ , представлены на рис.7.



$T, ^{\circ}\text{C}$ : 100 (1); 80 (2); 50 (3); 20 (4)

Рис. 1. Диаграммы растяжения полипропиленовой нити (ПП-1) при различных температурах

Было показано, что значительное изменение скорости растяжения (от 0,1 до 500 мм/мин) не вызывает значительного изменения вида этих кривых

– изменения значений деформации и напряжений в указанном диапазоне скоростей составляло не более 5%.



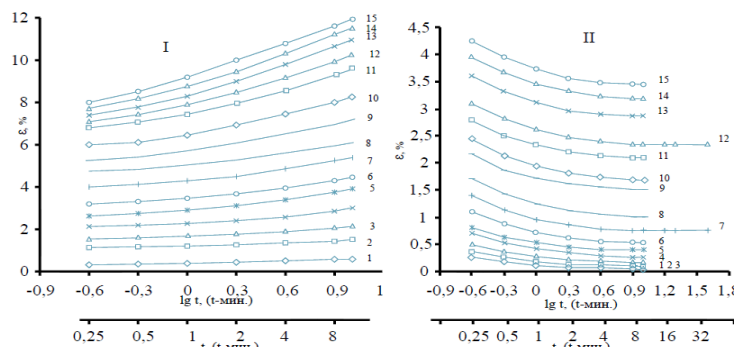
## 2. Методология исследования

Таким образом, в определённом диапазоне скоростей деформирования можно считать кривую растяжения достаточно стабильной характеристикой механических свойств этой нити. Анализ формы кривых  $\sigma(\epsilon)$  позволяет отметить, что диаграммы растяжения ПП нити состоят из двух участков, граница между которыми находится вблизи  $\epsilon \approx 4-5\%$ . Для более точного анализа формы этих кривых рассчитывались значения текущего (касательного, тангенциального)  $E(\epsilon)$  модуля, полученные дифференцированием диаграммы, т.е.  $E(\epsilon) = d\sigma(\epsilon)/d\epsilon$ .

Процессы ползучести и эластического восстановления нити ПП-1 исследовались в широком диапазоне нагрузок (от малых до предразрывных) при температурах 20, 50, 80, 100°C. Восстановительные процессы проходили при полной разгрузке образцов. Время ползучести и эластического восстановления

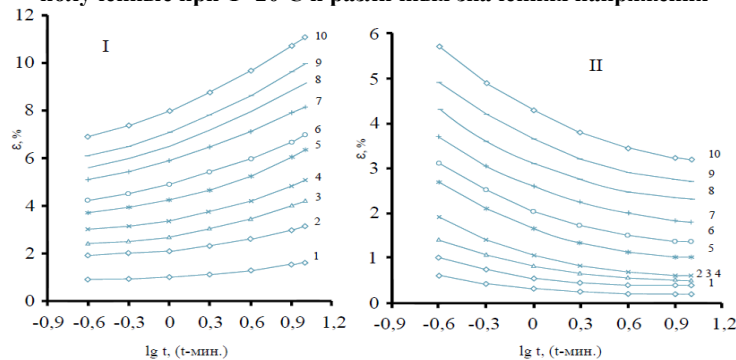
составляло 10 мин. Проводились и более длительные (в течение 2-х часов) эксперименты по эластическому восстановлению. Показано, что скорость процесса восстановления существенно падает во времени, поэтому можно считать, что за время равное 10-ти минутам проходит большая часть этого процесса. Семейства кривых ползучести и эластического восстановления пленочной нити ПП-1 представлены на рис. 2-5 в полулогарифмической системе координат. Интенсивность протекания процесса ползучести существенно зависит от величины приложенной нагрузки, т.е. наблюдается рост скорости процесса ползучести при определенных значениях напряжения [8].

На рис. 2. показаны семейства кривых ползучести (I) и эластического восстановления (II) у полипропиленовой нити (ПП-1), полученные при  $T=20^\circ\text{C}$  и различных значениях напряжения.



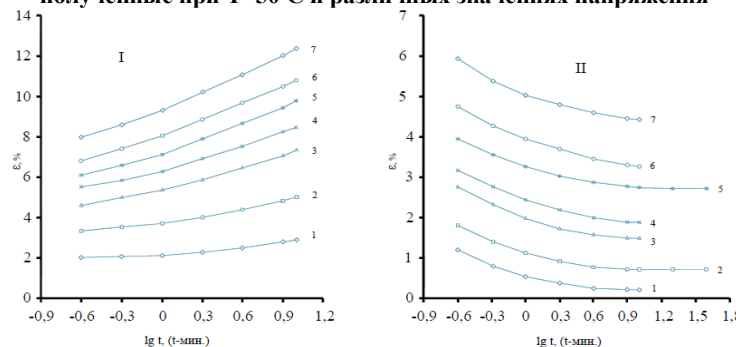
Значения  $\sigma$ , МПа: 24(1); 40(2); 79(3); 95(4); 119(5); 134(6); 159(7); 187(8); 198(9); 214(10); 240(11); 262(12); 278(13); 294(14); 315(15).

Рис. 2. Семейства кривых ползучести (I) и эластического восстановления (II) у полипропиленовой нити (ПП-1), полученные при  $T=20^\circ\text{C}$  и различных значениях напряжения



Значения  $\sigma$ , МПа: 24 (1); 40 (2); 56 (3); 63 (4); 79 (5); 95 (6); 100 (7); 119 (8); 134 (9); 154 (10).

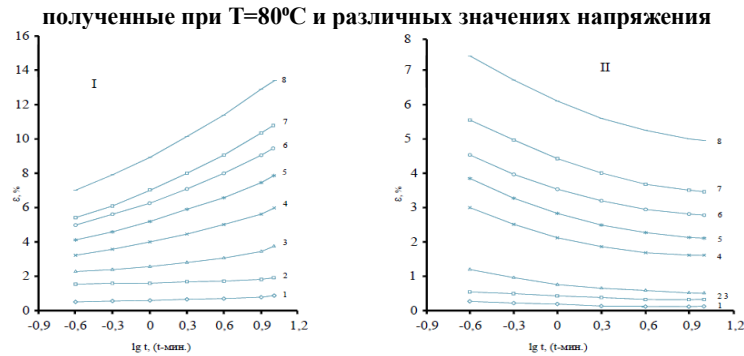
Рис. 3. Семейства кривых ползучести (I) и эластического восстановления (II) у полипропиленовой нити (ПП-1), полученные при  $T=50^\circ\text{C}$  и различных значениях напряжения



Значения  $\sigma$ , МПа: 24 (1); 40 (2); 56 (3); 63 (4); 79 (5); 95 (6); 100 (7).

Рис. 4. Семейства кривых ползучести (I) и эластического восстановления (II) у полипропиленовой нити (ПП-1),





Значения  $\sigma$ , МПа: 7,9 (1); 15,9 (2); 24 (3); 32 (4); 36 (5); 40 (6); 47 (7); 63(8).

Рис. 5. Семейства кривых ползучести (I) и эластического восстановления (II) у полипропиленовой нити (ПП-1), полученные при  $T=100^{\circ}\text{C}$  и различных значениях напряжения

Увеличение нагрузки приводит к появлению достаточно больших остаточных деформаций. Используя семейства кривых ползучести–восстановление, были получены зависимости  $\varepsilon_{\text{ост}}(\sigma)$ , определяющие накопление необратимого компонента деформации в зависимости от приложенного напряжения (рис.6). На этих зависимостях остаточными считались деформации, полученные в конце восстановительного процесса, длившегося 10 минут. Были получены подобные зависимости при длительности восстановительного процесса равной 2 часам. Сравнение зависимостей  $\varepsilon_{\text{ост}}(\sigma)$ , полученных при различных временах восстановления показало, что увеличение длительности этого процесса приводит лишь к незначительному уменьшению значений остаточного компонента и не изменяет характера этой зависимости. При всех температурах на зависимостях  $\varepsilon_{\text{ост}}(\sigma)$ , наблюдается два участка. На первом участке остаточные деформации малы. Превышение определенных (для каждой температуры) граничных значений напряжения  $\sigma_r$  вызывает существенный рост

остаточных деформаций: при  $T=20^{\circ}\text{C}$  значение  $\sigma_r \approx 120$  МПа;  $T=50^{\circ}\text{C}$  –  $\sigma_r \approx 60$  МПа;  $T=80^{\circ}\text{C}$  –  $\sigma_r \approx 35$  МПа;  $T=100^{\circ}\text{C}$  – 22 МПа. Зависимости  $\varepsilon_{\text{ост}}(\sigma)$ , полученные для разных температур, позволяют определить не только  $\sigma_r$ , но и те значения остаточной деформации ( $\varepsilon_{\text{ост}}^r$ ), превышение которых приводит к интенсивному росту необратимого компонента. Значение  $\varepsilon_{\text{ост}}^r \approx 0,5\%$  не зависит от температуры (рис.6). Итак, даже достаточно малые нагрузки вызывают необратимые процессы в ориентированном ПП, что подтверждается интенсивным ростом остаточного компонента. Для установления взаимосвязи между значениями напряжения и деформации в процессе ползучести использовались изохронные зависимости  $\sigma(\varepsilon_{10})$ , полученные для различных температур из семейства кривых ползучести. На рис. 6. Показана зависимости остаточной деформации от приложенного напряжения у полипропиленовой нити (ПП-1), полученные при различных температурах.

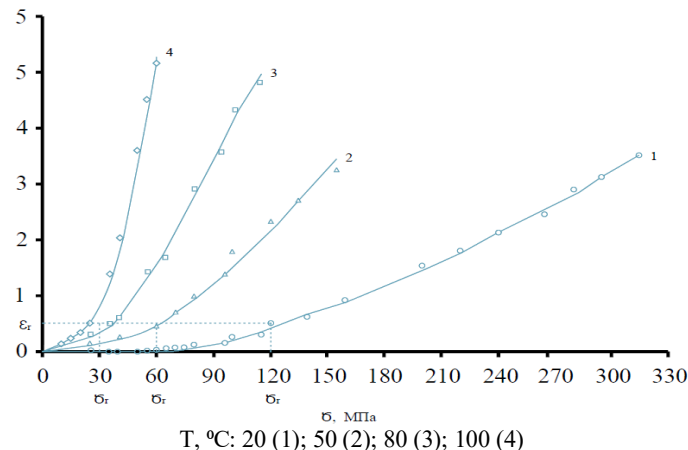


Рис. 6. Зависимости остаточной деформации от приложенного напряжения у полипропиленовой нити (ПП-1), полученные при различных температурах

### 3. Заключение

Таким образом, при температуре  $T=20^{\circ}\text{C}$  практически во всем исследованном диапазоне напряжений (от  $\sigma=24$  МПа до 278 МПа) остаточный компонент в основном складывается из  $\varepsilon_{\text{ост}}^B$ , т.е. является частью «временной» составляющей

ползучести  $\varepsilon_{\text{в}}^I$  только при более высоких нагрузках ( $\sigma=294$  МПа и 315 МПа) незначительная часть (6÷13%)

необратимого компонента накапливается за малые времена, т.е. входит составляющей в  $\varepsilon_{\text{км}}^I$ . Увеличение температуры не меняет указанную выше тенденцию, т.е. и при повышенных температурах необратимый компонент в основном входит составляющей частью в

высокоэластическую компоненту. Увеличение напряжения приводит к тому, что все большая часть остаточного компонента сосредоточена в  $\epsilon_{\text{км}}^I$ .

## Использованная литература / References

- [1] Рахманов Б.К. Грузозахватные приспособления в строительстве на основе синтетического сырья. Монография. Ташкент. Изд. «Навруз». 2020г.
- [2] Абдуллаев И.Н., Рахманов Б.К. Проблемы производства и применения грузозахватных приспособлений из синтетических лент и канатов в Узбекистане. Подъемно-транспортное дело. Научно-технический, производственно-экономический и информационный журнал. Москва. 2018. № 6. С. 5–7.
- [3] Раззаков С.Ж., Абдуллаев И.Н., Рахманов Б.К. Составные компоненты деформирования и разрушения синтетических тканых лент. Scientific-technical journal. STJ FerPI, T.4, 2021, V.4, №2 pp. 23-28.
- [4] Rakhmanov B.K. Experimental production cargo-handling devices from sunthetic woven tapes. International

Journal of Advance Scientific Research. 2022/7/30. 2 (07), 14-19.

[5] Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. Текстильное материаловедение (волокна и нити). / Под редакцией Г.Н. Кукина. М.: Легпромбытиздат. - 1989. - 349 с.

[6] Перепёлкин К.Е. Структура и свойства волокон. М.: Химия -1985, - 208 с.

[7] Info@uz.comUGXK

[8] Пахомов П. М., Шаблыгин М. В., Цобкалло Е. С., Чеголя А. С. Интерпретация кривой растяжения ориентированных полимеров. // Высокомолекулярные соединения. - 1986. - Т. 28А. - № 3. - С. 558-563.



## Информация об авторах/ Information about the authors

**Рахманов Б.К.** Ферганский государственный технический университет,  
e-mail: [rahmanovbahodir062@gmail.com](mailto:rahmanovbahodir062@gmail.com)

**Раззаков С.Ж.** Наманганский государственный технический университет  
e-mail: [sobirjonrsj@gmail.com](mailto:sobirjonrsj@gmail.com)



## Modeling of unsteady heat transfer processes in combined coatings

D.T. Sharipova<sup>1</sup>, N.B. Rakhimova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** Modeling of unsteady heat transfer processes in combined coatings is an important task for the development of efficient technologies and materials used in various industries such as mechanical engineering, energy, construction and others. Combined coatings are multi-layered structures that provide protection from external influences, improving the performance of materials.

**Keywords:** nonstationary heat transfer, combined coatings, multilayer structures, temperature fields, finite element method, thermal engineering characteristics, numerical methods, dynamic modeling, heat transfer, conduction, convection, radiation, temperature gradients, heat transfer, engineering materials, protection from external influences

## О моделировании процессов нестационарного теплопереноса в совмещенных покрытиях

Шарипова Д.Т.<sup>1</sup>, Рахимова Н.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Моделирование процессов нестационарного теплопереноса в совмещенных покрытиях является важной задачей для разработки эффективных технологий и материалов, применяемых в различных отраслях промышленности, таких как машиностроение, энергетика, строительство и другие. Совмещенные покрытия представляют собой многослойные структуры, которые обеспечивают защиту от внешних воздействий, улучшая эксплуатационные характеристики материалов.

**Ключевые слова:** нестационарный теплоперенос, совмещенные покрытия, многослойные структуры, температурные поля, метод конечных элементов, теплотехнические характеристики, численные методы, динамическое моделирование, теплопередача, кондукция, конвекция, радиация, температурные градиенты, теплообмен, инженерные материалы, защита от внешних воздействий

### 1. Введение

Современное строительство предъявляет высокие требования к теплоизоляционным характеристикам зданий, что обусловлено стремлением повысить энергоэффективность и комфорт эксплуатации. Важной частью этих требований является учет процессов теплопереноса, происходящих в различных конструктивных элементах зданий, особенно в совмещенных покрытиях, таких как крыши. Эти покрытия подвергаются значительному воздействию солнечной радиации, что приводит к увеличению тепловых нагрузок и может существенно повлиять на внутренний климат помещений, особенно в жаркое время года.

Исследования показывают, что воздействие солнечной радиации на горизонтальную поверхность значительно интенсивнее, чем на вертикальные ограждающие конструкции, такие как стены. Это объясняется тем, что горизонтальные элементы (кровля) получают максимальное количество солнечной энергии в течение дня, тогда как вертикальные конструкции частично защищены от прямых солнечных лучей.

### 2. Методология исследования

Поскольку воздействие потока солнечной радиации на горизонтальную поверхность оказывается более интенсивным, чем такое же воздействие на вертикальные ограждающие конструкции, то совмещенные крыши зданий испытывают тепловые нагрузки, значительно превышающие таковые, воздействующие на стены. Выполненные в [1] натурные наблюдения показали, что, например, асбофанерная крыша может нагреваться до 55-60 °С, а рубероидная запыленная - до 70 °С. В результате происходит перегрев верхних этажей эксплуатируемых зданий. Поэтому задача математического моделирования процессов нестационарного теплопереноса в совмещенных покрытиях представляется достаточно актуальной при термообновлении гражданских зданий.


Температурное поле внутри слоистой конструкции покрытия описывается дифференциальными уравнениями теплопроводности

$$\frac{\partial T_i}{\partial \tau} = a_i \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad (1)$$

условиями сопряжения на

стыке слоев

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1993-8165>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2477-4516>



$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x} = \frac{T_{i+1} - T_i}{R_{ki}} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}}{\partial x}, \quad x = x_i, \quad \text{краевыми условиями:} \quad (2)$$

начальными

$$T_i = T_i(x), \quad \tau = 0, \quad (3)$$

и граничными

$$\left. \begin{aligned} -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} &= \alpha_{\text{вн}} (T_{\text{вн}} - T_1), \quad x = 0, \\ \lambda_m \frac{\partial T_m}{\partial x} &= q_k + q_{\text{рад.}} - q_{\text{рад.н.}}, \quad x = R_m. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В правой части уравнения (4) представлены плотности тепловых потоков конвекцией

$$q_k = \alpha_{\text{вн}} [T_{\text{с}}(\tau) - T_m], \quad (5)$$

а также за счет поглощения солнечной радиации

$$q_{\text{рад.}} = \rho^* Q(\tau) \quad (6)$$

Наиболее сложной является задача определения  $q_{\text{рад.н.}}$  – поверхностной плотности потока излучения применительно к покрытию, обращенному в сторону безоблачного неба. В процессе численного моделирования процессов теплопереноса в совмещенных покрытиях были рассмотрены два подхода в определении величины  $q_{\text{рад.н.}}$ .

Согласно первому способу, излучение «неба» не учитывается: в расчет берется только обратное излучение – от поверхности покрытия в соответствии с законом Стефана-Больцмана:

$$q_{\text{рад.н.}} = \varepsilon_{\text{пр}} \sigma_0 T_m^4 \quad (7)$$

Для практического использования теоретических результатов первостепенное значение имеет согласования последних с экспериментальными

результатами. Для их согласования во втором подходе использована связь, полученная С. В. Зоколем в работе [2]:

$$q_{\text{рад.н.}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot E \quad (8)$$

в которой  $\varepsilon_{\text{пр}}$  обычно принимается равной 0,9. Поверхностная плотность потока излучения абсолютно черного тела  $E$  для плоского покрытия, согласно [2], составляет около 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Для решения задачи теплопереноса согласно модели (1) – (4) был применен разностный метод, реализованный в виде отдельной процедуры расчета нестационарных температур совмещенных покрытий в программном

$$\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x} = \frac{T_{i+1} - T_i}{R_{ki}} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}}{\partial x}, \quad x = x_i. \quad (9)$$

комплексе модели теплопереноса.

Для согласования теоретических и экспериментальных данных и оценки точности работы модели, необходимы данные натурных измерений. В качестве натурных данных были использованы результаты экспериментальных обследований, выполненных Е. А. Солдатовым [3] и И. С. Сухановым [4] (Бухара, климатический район III). Ниже приведено сопоставление результатов расчета и экспериментальных данных процесса нестационарного теплопереноса в совмещенном покрытии при радиационно-конвективном теплообмене на внешней поверхности (граничное условие (4)).

Физические параметры исследуемого совмещенного покрытия, представляющего собой многослойную конструкцию, состоящую из железобетонной плиты, керамзитового утеплителя, цементной стяжки и рулонного ковра приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физические параметры совмещенной крыши и окружающей среды

Климатический район	$\delta$ , м	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$a$ , м <sup>2</sup> /с	$t_{\text{вн}}$ , °C	$\delta_{\text{вн}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$\delta_{\text{н}}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)	$\alpha_{\text{пр}}$	$\alpha$
III (г. Бухара)	Железобетонная плита			30	8,7	20	0,80	0,65
	0,1	1,92	$9,14 \cdot 10^{-7}$					
	Керамзитовый утеплитель							
	0,35	0,19	$3,77 \cdot 10^{-7}$					
	Цементная стяжка							
	0,03	0,76	$5,03 \cdot 10^{-7}$					

Суточные изменения температуры наружного воздуха  $T_{\text{с}}(\tau)$ , а также плотности теплового потока суммарной солнечной радиации  $Q(\tau)$  в июле месяце брались по данным главы II. Величина термического контактного сопротивления между слоями  $R_k$  приравнивалась нулю. Предполагалось, что предшествующая длительность теплообмена настолько велика, что влияние начального распределения температуры (3) уже не проявляется. При  $\tau = 0$  начальная температура описывалась ломаной кривой, характерной для стационарного состояния. Затем выполнялся расчет температурного поля последовательно в течение пяти суток при периодических изменениях  $T(\tau)$  и  $Q(\tau)$ . Распределения нестационарных температур ограждения в период пятих суток принимались в качестве искомых.

Рассчитанные с помощью предлагаемого метода значения температур на наружной поверхности покрытия  $T_{\text{н.пов}}(\tau)$ , температур на наружной поверхности утеплителя  $T_{\text{утепл}}(\tau)$  и внутренней поверхности конструкции  $T_{\text{вн.пов}}(\tau)$  (потолка последнего этажа) представлены на рис. 1. На этом же рисунке также отображены экспериментальные значения соответствующих температур, полученные в результате натурных экспериментов, выполненных Е. А. Солдатовым и И. С. Сухановым [5,6].





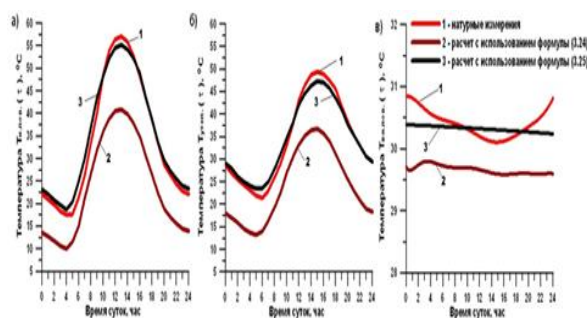


Рис. 1. Суточные колебания температуры элементов совмещенного покрытия: а) - наружной поверхности покрытия; б) – наружной поверхности утеплителя; в) – внутренней поверхности (потолка) конструкции

Анализ представленных на рис.1 результатов реализации модельного теплового переноса в рассматриваемой конструкции совмещенного покрытия

в сопоставлении с результатами натурных измерений, указывают на достаточно высокую точность расчета температурных распределений, а значит, приемлемо передают действительную картину теплового переноса. Количественные оценки точности работы модели (1) - (4) представлены в табл. 1. Приведенные в табл. 1 оценки точности расчета теплового переноса в конструкции совмещенного покрытия, прежде всего, показывают, что использование формулы (8) при определении поверхностной плотности потока излучения  $q_{\text{рад.н.}}$  применительно к покрытию оказалось более точным, поэтому, в граничном условии (4) следует применять эту формулу. В целом модельные расчеты распределения температурного поля, как функции времени суток, элементов совмещенного покрытия (наружная поверхность покрытия, наружная поверхность утеплителя и внутренняя поверхность покрытия) оказались достаточно точными.

Таблица 2

Оценка точности модели теплового переноса в совмещенном покрытии

Время суток, час	Наружная поверхность покрытия					Наружная поверхность утеплителя					Внутренняя поверхность конструкции				
	Температура, °C														
	$T_{ни}$	$T_1$	$ \Delta_1 $	$T_2$	$ \Delta_2 $	$T_{ни}$	$T_1$	$ \Delta_1 $	$T_2$	$ \Delta_2 $	$T_{ни}$	$T_1$	$ \Delta_1 $	$T_2$	$ \Delta_2 $
0															
1															
2	22,1	13,7	8,4	23,2	1,1	28,6	18,0	10,6	29,2	0,5	30,8	29,7	1,1	30,3	0,5
3	21,0	12,7	8,3	22,1	1,1	26,9	17,0	9,9	27,9	1,0	30,8	29,7	1,1	30,3	0,5
4	19,8	11,8	8,0	20,8	1,0	25,5	16,0	9,5	26,2	0,6	30,7	29,7	1,0	30,4	0,3
5	18,4	10,8	7,6	19,8	1,4	24,3	14,7	9,6	25,1	0,8	30,6	29,8	0,8	30,4	0,2
6	17,5	10,1	7,4	18,8	1,3	23,1	13,7	9,4	24,1	1,0	30,5	29,8	0,6	30,4	0,1
7	17,7	11,6	6,1	20,5	2,8	21,9	13,3	8,6	23,5	1,6	30,5	29,8	0,6	30,5	0,0
8	21,5	15,2	6,3	25,1	3,6	21,5	14,1	7,4	23,7	2,2	30,5	29,7	0,8	30,4	0,1
9	26,3	21,1	5,2	30	3,7	23,0	16,3	6,7	25,1	2,1	30,4	29,7	0,6	30,4	0,0
10	33,4	26,6	6,8	36,8	3,4	25,8	19,3	6,5	27,8	2,0	30,4	29,7	0,6	30,4	0,0
11	40,1	31,8	8,3	43,4	3,3	29,2	22,6	6,6	31,2	2,0	30,3	29,7	0,6	30,4	0,0
12	48,6	36,0	12,6	48,2	0,3	33,3	27,0	6,3	34,8	1,5	30,3	29,7	0,6	30,3	0,0
13	54,0	38,9	15,1	52,4	1,6	37,8	30,5	7,3	38,2	0,4	30,3	29,7	0,6	30,3	0,0
14	56,4	40,5	15,9	54,6	1,8	43,1	33,3	9,8	42,0	1,1	30,1	29,7	0,4	30,3	0,0
15	57,1	40,9	16,2	55,3	1,8	46,6	35,3	11,3	44,6	2,0	30,1	29,6	0,5	30,3	0,0
16	55,9	39,9	16,0	54,2	1,7	48,8	36,5	12,3	46,4	2,4	30,1	29,6	0,5	30,3	0,0
17	52,6	37,8	14,8	52,1	0,5	49,4	36,8	12,6	47,3	2,1	30,1	29,6	0,5	30,3	0,0
18	48,2	35,0	13,2	48,9	0,6	48,9	35,7	13,2	47,0	1,9	30,2	29,6	0,5	30,3	0,0
19	43,4	30,6	12,8	43,7	0,3	47,5	34,0	13,5	45,9	1,6	30,2	29,6	0,5	30,3	0,0
20	38,7	26,5	12,2	38,9	0,1	45,6	31,4	14,2	43,6	2,0	30,2	29,6	0,5	30,2	0,0
21	33,4	22,3	11,1	33,6	0,2	41,8	28,4	13,4	41,1	0,6	30,3	29,6	0,6	30,2	0,1
22	28,7	18,9	9,8	29,6	0,9	38,3	25,5	12,8	37,7	0,5	30,4	29,6	0,7	30,2	0,1
23	26,4	17,0	9,4	27,2	0,8	35,2	22,9	12,3	35,3	0,0	30,4	29,6	0,7	30,3	0,0
24	24,4	15,7	8,7	25,6	1,2	33,0	20,9	12,1	33,0	0,0	30,6	29,6	1,0	30,3	0,3
Статистические	22,8	14,5	8,3	24	1,2	30,6	19,0	11,6	30,6	0,0	30,7	29,6	1,1	30,3	0,3
	22,2	14,0	8,2	23,4	1,2	29,5	18,4	11,1	29,5	0,0	30,8	29,6	1,2	30,3	0,5
	$\sigma_1^2$		$\sigma_2^2$			$\sigma_1^2$		$\sigma_2^2$			$\sigma_1^2$		$\sigma_2^2$		
	11,8		2,66			6,25		2,16			0,04		0,04		
	$ \Delta_1^{max} $		$ \Delta_2^{max} $			$ \Delta_1^{max} $		$ \Delta_2^{max} $			$ \Delta_1^{max} $		$ \Delta_2^{max} $		
	16,2		1,8			14,2		2,4			0,8		0,5		
	$r_1$		$r_2$			$r_1$		$r_2$			$r_1$		$r_2$		
	0,919		0,992			0,909		0,993			0,993		0,998		

Примечание:  $T_{\text{ни}}$  – температура по результатам натурных измерений;  $T_1$  – модельная температура, рассчитанная с использованием формулы (3.24);  $T_2$  – модельная температура, рассчитанная с использованием формулы (3.25);  $|\Delta|$  – абсолютная ошибка;  $\sigma^2$  – дисперсия ошибки;  $|\Delta^{\text{max}}|$  – максимальная абсолютная ошибка;  $r$  – коэффициент корреляции между натурными измерениями и рассчитанными температурами.



А принимая во внимание малое изменение температуры потолка  $T_{\text{вн.пов}}(\tau)$  ( $\sigma^2 = 0,04$ ), можно отметить значительную теплоустойчивость покрытия. В последнем случае, как видно из табл. 1, использование формул (7), (8) при расчете величины  $q_{\text{рад.из}}$  практически, идентично. Это очевидный результат, ибо влияние внешнего потока излучения на внутреннюю поверхность ограждения очень мало.

На основании описанной выше модели теплового переноса были проведены численные эксперименты для различных климатических зон Узбекистана и других вариантов горизонтальных ограждающих конструкций, схема которых показана на рис.2. Рассматривались совмещенные покрытия для летних условий в г. Каракалпакия, г. Ташкент, г. Термез климатических зонах.

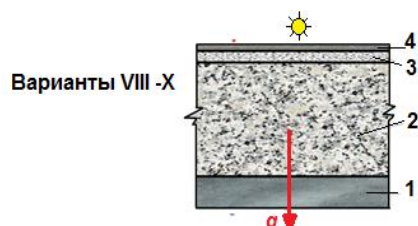


Рис. 2. Схема конструкции совмещенных покрытий:

1- железобетонная плита; 2-утеплитель; 3 – цементно-песчаная стяжка; 4 – гидроизоляционный ковер

Физические характеристики рассмотренных материалов ограждающих конструкций приведены в табл. 3.6.

На рис. 3. приведены распределения нестационарных температур наружной  $T_{\text{н.пов}}(\tau)$  и внутренней  $T_{\text{вн.пов}}(\tau)$  поверхностей покрытия, рассчитанные в соответствии с данными VI-IX вариантов (табл. 3). Здесь же изображены изменения температуры наружного воздуха  $T_c(\tau)$  в течение суток для данного климатического района.

Как видно из приведенных на рис. 3. кривых, повышенные амплитуды суточных колебаний внешних тепловых воздействий практически не отражаются на изменении температуры внутренней поверхности конструкций  $T_{\text{вн.пов}}(\tau)$ .

Следовательно, рассмотренные совмещенные покрытия (VI-IX) можно оценить, как теплоустойчивые. При этом для различных видов утеплителей со значительным различием в коэффициенте теплопроводности (вариант VIII и IX, табл. 2) нестационарные температуры на внутренней поверхности ограждения по мере приближения к максимальному часу суток прогрева конструкции заметно увеличиваются, достигая максимальной величины (около градуса) в 16 часов (рис. 4, кривая разности).

Таблица 3

Физические параметры элементов покрытий, используемые как входные данные при численном моделировании

№ варианта	Материал	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/м·°C	$a$ , м²/с	$t_{\text{вн}}$ , °C	$\varepsilon_{\text{пр}}$	$\rho$	$R$ , м²·K / °C
Плита								
VI	Железобетон	0,10	1,92	$9,1 \cdot 10^{-7}$	23	0,9	0,7	3,302
VII	Железобетон	0,10	1,92	$9,1 \cdot 10^{-7}$	23	0,9	0,7	3,302
VIII	Железобетон	0,10	1,92	$9,1 \cdot 10^{-7}$	25	0,9	0,7	1,848
IX	Железобетон	0,10	1,92	$9,1 \cdot 10^{-7}$	25	0,9	0,7	1,469
Стяжка								
VI□ IX	Цементно-песчаный раствор	0,02	0,76	$5,03 \cdot 10^{-7}$	—	—	—	—
Гидроизоляция								
VI	Битум	0,02	0,27	$1,15 \cdot 10^{-7}$	—	—	—	—
VII□ □□X	Рубероидный ковер	0,01	0,17	$1,69 \cdot 10^{-7}$	—	—	—	—
Утеплитель								
VI	Вермикулит	0,20	0,067	$7,98 \cdot 10^{-7}$	—	—	—	—
VII	Плиты из стекловолна URSA	0,12	0,04	$7,94 \cdot 10^{-7}$	—	—	—	—
VIII	Пенобетон	0,17	0,11	$4,37 \cdot 10^{-7}$	—	—	—	—
IX	Плиты минераловатные	0,07	0,06	$7,14 \cdot 10^{-7}$	—	—	—	—

Условные обозначения:  $\delta$  - толщина слоя;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $a$ -коэффициент температуропроводности;  $t_{\text{вн}}$  – температура в помещении;  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведенная степень черноты;  $\rho$  - коэффициент поглощения солнечной радиации;  $R$  – термическое сопротивление теплопередаче.



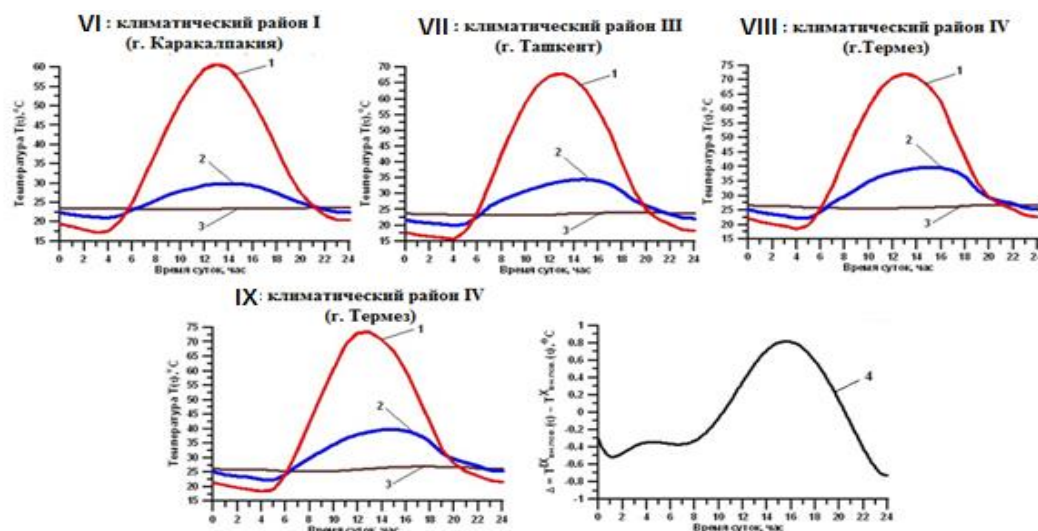


Рис. 3. Нестационарные температуры совмещенного покрытия:

1 – наружной поверхности; 2 – наружного воздуха; 3 – внутренней поверхности; 4 – разности температур внутренней поверхности, рассчитанных для утеплителей с различной теплопроводностью (варианты VIII и IX табл. 3).

На рис. 4. приведены величины плотностей тепловых потоков на наружной  $q_{н.пов}$  и внутренней  $q_{вн.пов}$  поверхностях ограждений (VI-IX), найденные на основе соотношения (4). Для иллюстрации на этих же рисунках показан суточный ход плотности теплового потока

суммарной солнечной радиации  $Q$  ( $\tau$ ). Сделанный ранее вывод о повышенной теплозащите покрытий (VI-IX), подтверждается слабыми колебаниями величины  $q_{вн.пов}$ .

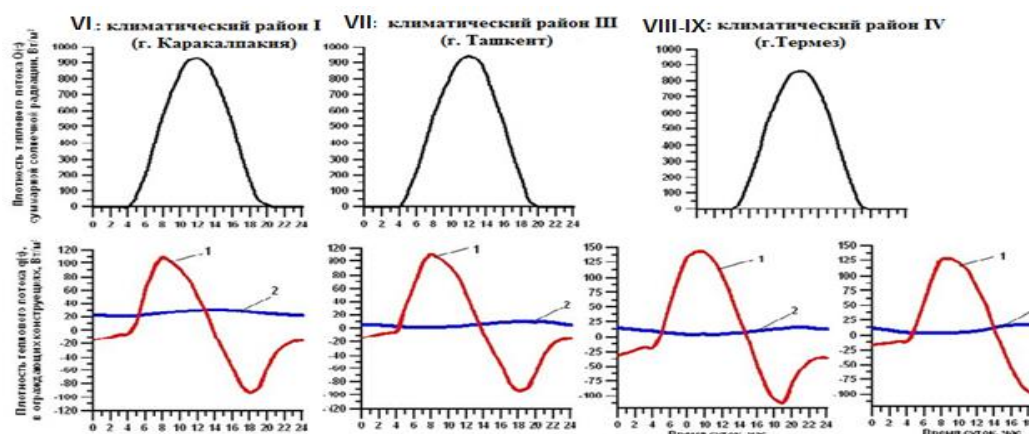


Рис. 4. Суточные изменения плотности теплового потока суммарной солнечной радиации (вверху) и плотности теплового потока на наружной (1) и внутренней (2) поверхности (внизу) совмещенного покрытия для вариантов VI-IX

Таким образом, рассмотренные результаты численного моделирования процессов теплопереноса в ограждающих конструкциях в летнее время на основе разработанного метода, наглядно продемонстрировали возможность приемлемой оценки теплоустойчивости ограждений. Варьируя теплофизическими параметрами, можно проводить исследования в различных строительных конструкциях – как в многослойных стенах, так и в совмещенных покрытиях, что дает простой инструмент инженерам - проектировщикам для решения практических оптимизационных проектных задач строительной физики.

### 3. Заключение

Предложен метод решения задачи нестационарной теплопроводности в многослойных строительных конструкциях с учетом результирующего излучения

между ограждением и окружающей средой. Для его численной реализации разработана программа «Расчет теплопереноса в многослойных строительных конструкциях с учетом солнечной радиации», позволяющая с высокой точностью определять температурные поля ограждений и плотности тепловых потоков на их наружных и внутренних поверхностях.

По результатам численных экспериментов установлены графические зависимости, характеризующие изменения температур и тепловых потоков типовых ограждающих конструкций при их лучисто-конвективном прогреве, показано влияние температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации на динамику тепловых режимов ограждений.

Было установлено, что окраска наружной поверхности ограждения составом с коэффициентом поглощения солнечной радиации 0,3 позволяет, по



сравнению с составом с коэффициентом поглощения 0,7, снизить температуру внутренней поверхности ограждающей конструкции на 15%.

Показано, что учет результирующего излучения между ограждением и окружающей средой при расчете величины температуры на внутренней поверхности ограждения повышает ее значение в среднем на  $(2 - 4)^{\circ}\text{C}$  (3-16%), по сравнению с определенной по стандартной методике.

Подтверждена эффективность расположения слоя теплоизоляции с наружной стороны стены, при этом плотность теплового потока на наружной стороне ограждений западной и восточной ориентации минимальна и практически постоянна в течение суток.

Разработана методика расчета для оценки теплового режима и теплоустойчивости совмещенных покрытий при радиационно-конвективном теплообмене на внешней поверхности, позволяющая повысить точность определения на 5 – 8%.

Моделирование процессов нестационарного теплопереноса в совмещенных покрытиях является важным инструментом в проектировании современных зданий. Оно позволяет учитывать все ключевые факторы, влияющие на тепловой режим, и разрабатывать эффективные стратегии для уменьшения негативных последствий перегрева крыш. С учетом текущих тенденций в области строительства и изменения климата, такие исследования и решения становятся неотъемлемой частью разработки экологически чистых и энергоэффективных зданий.

## Использованная литература / References

[1] Зоколей С. В. Архитектурное проектирование, эксплуатация объектов, их связь с окружающей средой. М.: Стройиздат, 1984. 670 с.

[2] Минькин Л.М., Дикий Г.Ф. Экспериментальные исследования тепловых режимов ограждений в летнее время// Инженерно-физический журнал, т.91, № 6 – С.12-20

[3] Солдатов Е. А. Наружные ограждения и тепловой режим зданий в условиях действия солнечной радиации. Ташкент: Фан, 1979. – 104с.

[4] Суханов И.С. Лучистая энергия солнца и архитектура – Ташкент: Фан, 1973. – 224 с.

[5] Е.В. Щипачева, Д.Т. Шарипова, Н.Б. Рахимова, С.С. Шаумаров; Тепловая защита зданий в климатических условиях: монография / под.общ. ред.

[6] Щипачевой Е.В., -Т.: Muxammad Poligraf, 2019 – 186с.

[7] Шарипова Д.Т. Методы естественного регулирования микроклимата помещений гражданских зданий в условиях жаркого климата / Вестник ТашИИТ. -2015.-№3/4.-С. 30-32.

[8] Е.В. Щипачева, Д.Т. Шарипова. К вопросу об ограждающих конструкциях зданий с повышенными теплозащитными свойствами // Архитектура и строительство Узбекистана.-2016.-№.4-5.-С. 84-86.

[9] Е.В. Щипачева, Шарипова Д.Т. К вопросу строительного-климатического районирования территории Узбекистана // Вестник ТашИИТ. -2017.-№2/3.-С. 23-27.

[10] Шарипова Д.Т. Определение потока солнечной радиации на ограждающие конструкции зданий // Вестник ТашИИТ. -2017.- №2/3.-С.41.

[11] Shipacheva E.V., Pirmatov R.X., D. T. Sharipova. Exploration of heat transmission method in external enclosing structures of buildings under impact of solar radiation in the republic of Uzbekistan // International Journal of Scientific and Technology Research, 2019, 8(12), 3415–3418.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Шарипова Дилафруз Тоуфуковна** Ташкентский государственный транспортный университет доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент  
Email: [dilafruz1407@gmail.com](mailto:dilafruz1407@gmail.com)  
Tel.: +998909725578  
<https://orcid.org/0000-0003-1993-8165>

**Рахимова Назима Бахтиеровна** Ташкентский государственный транспортный университет доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент  
E-mail: [nozima.rakhimova@gmail.com](mailto:nozima.rakhimova@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-2477-4516>





## Innovative approaches to architectural design of youth centers in the era of information society

E.V. Shchipacheva<sup>1</sup><sup>a</sup>, N.E. Umarova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article analyzes the objects of cultural purpose oriented to modern youth environment. The results of the study of transformation of volume-planning structure of modern youth spaces in the context of information society development are presented. The architectural and planning concept that can be used as a basis for the creation of a modern youth center is given.

**Keywords:** information society, youth center, youth leisure, planning system, functional spaces, architectural and planning principles

## Инновационные подходы к архитектурному проектированию молодёжных центров в эпоху информационного общества

Щипачева Е.В.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Умарова Н.Э.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В статье приводится анализ объектов культурного назначения, ориентированных на современную молодёжную среду. Представлены результаты исследования трансформации объёмно-планировочной структуры современных молодёжных пространств в контексте развития информационного общества. Приведена архитектурно-планировочная концепция, которая может быть положена в основу создания современного молодёжного центра.

**Ключевые слова:** информационное общество, молодёжный центр, молодёжный досуг, система планировки, функциональные пространства, архитектурно-планировочные принципы

### 1. Введение

XXI век – это век информационного общества, когда главным ресурсом становится информация, а условия жизни людей во многом определяются совершенством информационных технологий. Потенциал разумного и грамотного использования возможностей, которые создаёт информационное общество, велик и открывает широкие перспективы для развития стран, становится стимулятором изменения уровня и качества жизни людей, способствует расширению возможностей для предпринимательства, медицины, образования, культуры, сферы услуг. Наряду с огромными возможностями, информационное общество таит в себе и много угроз различного характера, которые, в первую очередь, связаны с неравенством людей в доступе к глобальной информационной системе из-за социально-экономического и научно-теоретического разрыва, а также с тем, что население в целом стало предпочитать неактивные виды досуга, которые при чрезмерном увлечении могут способствовать ухудшению физического и психологического здоровья. Главным субъектом развития информационных технологий является молодое поколение как наиболее восприимчивое ко всем новшествам, обладающее высоким уровнем мобильности и интеллектуальной активности, остро ощущающее на себе как позитивные, так и негативные влияния [1]. В связи с этим, перед государством лежит огромная ответственность за

будущее существование мира, гармоничное воспитание молодежи.

Средством решения проблемы воспитания молодежи как части информационного общества является не только достижение высокого уровня знаний по соответствующим направлениям, но и удовлетворение потребности молодого поколения в организованном досуге, наполненном интеллектуальной деятельностью, творчеством, общением, занятиями спортом.

Помимо школ, вузов и колледжей в городской застройке должна создаваться среда, обеспечивающая условия для учебной и воспитательной деятельности, реализации творческой и общественной активности, культурного совершенствования молодежи. Существующие молодёжные центры в республике не могут обеспечить качественный, отвечающий различным интересам досуг, так как количество помещений в них мало, предоставляемые виды деятельности связаны преимущественно с изучением языков и подготовкой к поступлению в вузы, не приспособлены для проведения досуга, включающего познавательную и научную деятельность, не в полной мере используют возможности современной техники и технологии.

Кроме того, особые климатические и геофизические условия Республики Узбекистан требуют дополнительного учета их при разработке объёмно-планировочного и конструктивного решения здания молодёжного центра для обеспечения должной

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0000-0489-445X>





прочности и надежности объекта, его энергоэффективности и комфортности.

## 2. Методология исследования

В исследовании использованы теоретические и практические материалы, отражающие принципы проектирования объектов культурного назначения, ориентированных на современную молодежную среду, содержащие новые требования к ним, определяемые влиянием повсеместного внедрения в общественную жизнь социальных сетей, онлайн-ресурсов и виртуальных пространств.

Основным методом исследований принят функционально-композиционный анализ проектных решений зданий молодежных центров, кампусов и объектов культурно-просветительского назначения.

## 3. Результаты исследования

В данном разделе представлены результаты испытаний прочности при изгибе и сжатии, а также проведен анализ водоцементного отношения и структуры пористости.

Целью исследований явилось изучение трансформации объемно-планировочной структуры современных молодежных пространств в контексте развития информационного общества, уделив основное внимание правильности функционального решения и количеству направлений в учебно-воспитательном

плане, повышению уровня комфортности и доступности.

Для выявления основных тенденций развития объемно-планировочной структуры зданий, предназначенных для современной молодежи, был проанализирован зарубежный опыт строительства подобных объектов.

### 3.1 Зарубежный опыт проектирования молодежных объектов

В современном обществе молодежные досуговые центры аккумулируют в своих пространствах людей, обладающих высокой социальной активностью.

*Международный молодежный центр в Обершлайсхайме (Германия).*

Целью проекта было создание общественного пространства, в котором молодежь с разных стран мира могла бы активно взаимодействовать, заводить новые и укреплять имеющиеся дружеские отношения, формировать перспективы на будущее [2]. Комплекс состоит из четырех отдельных зданий (главного дома, жилого здания, мастерской и кемпинга), объединенных открытыми пространствами (рис.1). Все здания имеют неправильную пятиугольную или шестиугольную форму. Объединяет здания в единую композицию обширная терраса.

В центре главного дома расположена «лестница встреч», которая помимо основного назначения – доступа к комнатам общежития служит коммуникативным центром, предоставляя пространство для отдыха, встреч, проведения выставок, то есть является зоной для неформального общения.



Рис. 1. Международный молодежный центр в Обершлайсхайме (Германия):

а - общий вид; б – «лестница встреч»

*Сеульский образовательный кампус Hands-on Learning для молодежи (Южная Корея).* Главной целью архитекторов было формирование наиболее привлекательной среды, которая бы служила источником вдохновения для людей, заинтересованных в саморазвитии и приобретении новых навыков. Каждое помещение кампуса представляет собой отдельную образовательную площадку, имеющую свой цвет и

набор элементов, и расположенное в соответствии с последовательностью этапов образовательного процесса (рис.2а) [3]. Применение анфиладной системы планировки способствует вовлечению молодежи в смежные виды деятельности, способствует ее интеллектуальному росту, развитию творческих способностей, повышает уровень коммуникабельности (рис. 2б).

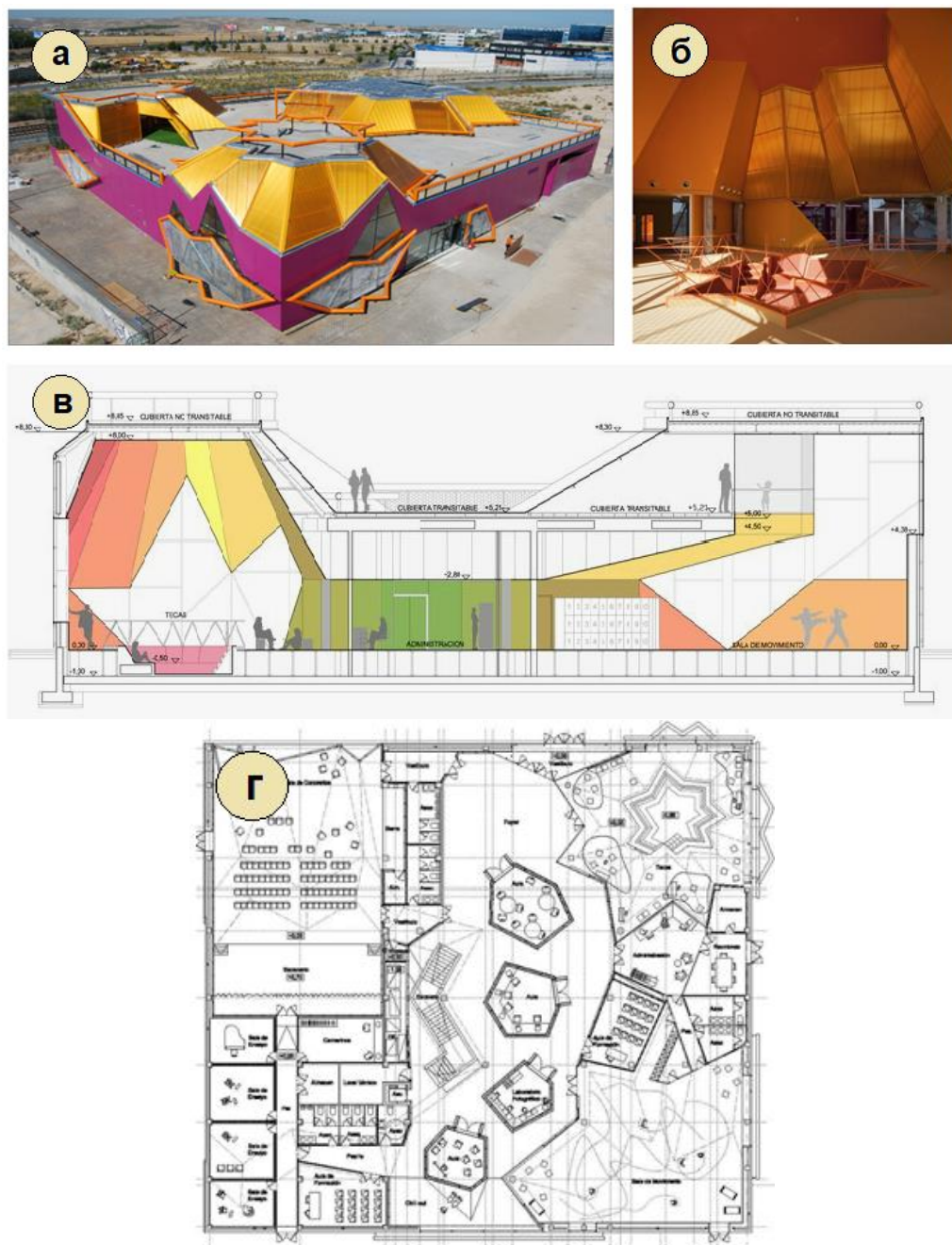


Рис. 2. Молодежный кампус Hands-on Learning (Южная Корея. Сеул): а, б - интерьеры



**Молодежный центр Rivas (Испания. Мадрид, 2009 г.).** С самого начала проект задумывался как символ молодёжного духа Мадридских окраин [4]. Он приобрёл яркий и необычный по форме фасад, дерзкие вызывающие интерьеры (рис. 3). Функциональные центры здания задуманы как «взрывы активности», имеющие разное конструктивное и объёмно-

планировочное решение: от обычных прямоугольных до сложных полувзвездчатых форм атриумного типа. Совместно с разноуровневыми площадками внутри здания, а также эксплуатируемым покрытием они создают прекрасное пространство для общения и обмена опытом.



**Рис. 3. Молодежный центр Rivas (Испания. Мадрид):**

**а – общий вид; б – интерьер звездчатого зала; в – разрез; г – план**

**Образовательный парк Raíces (Гватемала, Колумбия, 2015 г.).** Проект включает обучающие и культурные двухэтажные блоки, объединенные открытой галереей и обширным дворовым

пространством, дающим возможность проводить мероприятия на открытом воздухе и являющимся коммуникационным пространством для всего комплекса (рис. 4) [5].



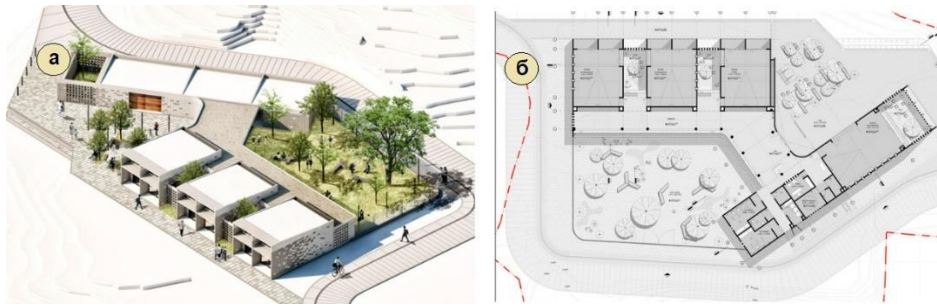


Рис. 4. Образовательный парк Raíces (Гуатапе, Колумбия):

а – общий вид; б - план

**Культурный центр "Longgang" в Шэньчжэне (Китай, 2019 г.)** включает в себя центр популярной науки для детей и юношества (10 000 м<sup>2</sup>), молодежный центр для общения, занятий спортом и концертов (8 000 м<sup>2</sup>), художественный музей с центром градостроительства (13 500 м<sup>2</sup>), книжный центр с кафе и ресторанами (35 000 м<sup>2</sup>). Также в комплекс входят

магазины и подземный гараж (21 500 м<sup>2</sup>) (рис. 5) [6]. При площади участка в 3,8 га значительная его часть занята общественным пространством. Благодаря размещению входов в культурные центры на крытых площадях, различные культурные мероприятия могут также проводиться на открытом воздухе.



Рис. 5. Культурный центр "Longgang" в Шэньчжэне (Китай):

а – общий вид, б – интерьер

Огромные открытые пространства и атриумная планировочная система располагает к широкому общению, способствует повышению интереса к различным видам деятельности как то научной, творческой или спортивной.

**Культурный центр в Ауэнау (Франция, 2009 г.)** предназначен для людей разного возраста, в том числе и для молодежи (рис. 6) [7]. На первом этаже здания размещены пространства для общения людей разных

возрастных групп, мультимедийная библиотека, небольшие конференц-залы и офисные помещения. Двухсветный читальный зал, расположенный на втором этаже, огромным витражом выходит на городскую площадь, что способствует популяризации чтения. На третьем этаже запроектированы танцевальный и гимнастический зал, интерьер которых разнообразит включение во внутреннее пространство объема крыши.



Рис. 6. Культурный центр в Ауэнау (Франция):

а – общий вид; б – план первого этажа; в – разрез



**Молодёжный центр Гэри Комера (Чикаго, США, 2006 г.)** центр является пространством для различных молодежных образовательных и развлекательных программ (рис.7) [8]. Центром сооружения является универсальный спортивный зал, который, в случае необходимости, может комнаты для занятия искусством и ремёслами, компьютерные лаборатории, танцевальные залы и студия звукозаписи, помещения для изучения различных предметов, выставочные залы. На внешнюю сторону здания выходят танцевальные и художественные залы, что позволяет рекламировать деятельность молодежного центра.

Применение светопрозрачных перегородок обеспечивает визуальный доступ к различным группам помещений, что способствует повышению интереса и

трансформироваться в театральную площадку с 600 зрительскими местами. К спортивному залу примыкает кафетерий.

Со всех сторон зал окружает трехуровневое пространство, адаптируемое под любые образовательные или развлекательные помещения: последующей вовлеченности в тот или иной процесс молодых людей, а также создает у них чувство безопасности.

На крыше над универсальным залом расположена зеленая зона, которая может служить как местом отдыха, так и местом для занятий по выращиванию ягод и овощей, которые затем используются на занятиях по кулинарному искусству. Для доступа естественного света в помещение универсального спортзала на крыше установлены световые люки.

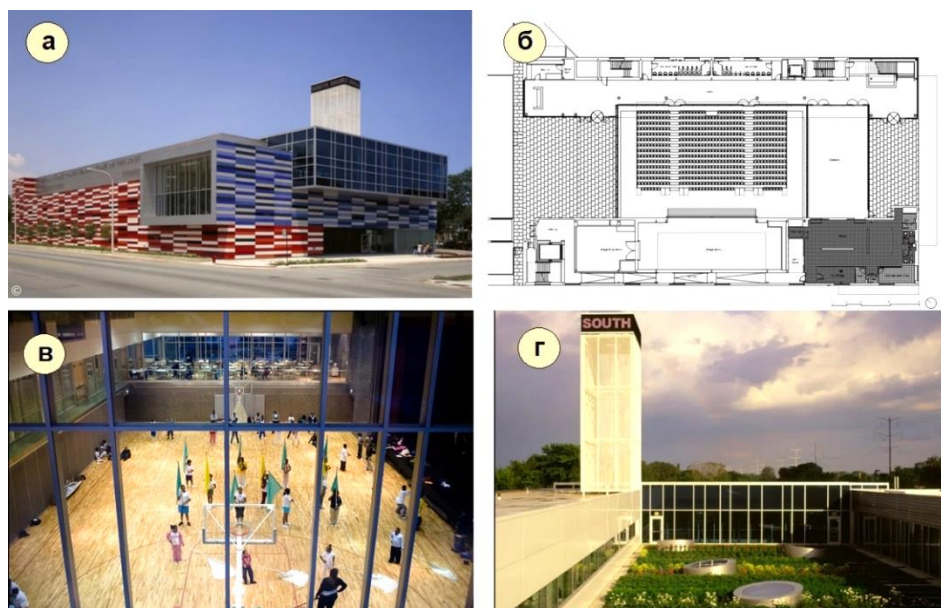


Рис.7. Молодёжный центр Гэри Комера (США):

а – общий вид; б – план со зрительным залом; в – интерьер универсального спортивного зала; г – зеленая зона на крыше

**Образовательный центр для одарённых детей «Сириус» (Россия, Сочи, 2019 г.)** представляет собой комплекс зданий, объединенных общей территорией (павильонная архитектура). В состав комплекса входят административно-спальный корпус, а также корпуса «Школа», «Спорт» и «Искусство». Архитектура трех последних корпусов решена в едином ключе пластичных обтекаемых форм сферической и эллипсовидной конфигурации, что позволяет органично вписать их в окружающий ландшафт (рис.8) [9].

Корпус «Школа» представляет собой в плане кольцо с открытым небосводу внутренним двором (рис.8). Использована коридорная система планировки с двухрядной застройкой (рис.9). Помещения, ориентированные на внутренний двор имеют панорамные окна. Здесь предусмотрены аудитории для проведения теоретических занятий, которые подкрепляются практикой и опытами в ультрасовременных лабораториях разной направленности: цифровая, естественно-научная, сканирующей зондовой микроскопии, технологическая мастерская и др. Между учебными комнатами во

многих случаях предусмотрены трансформирующиеся перегородки, позволяющие изменять пространство в зависимости от требуемой вместимости во время проведения занятий. Внешняя оболочка здания выполнена вентилируемой с применением технологий SEVALCON. Сложное конструктивное решение оболочки состоит из внутреннего покрытия из профлиста, паро-, тепло- и гидроизоляции, а также внешней декоративной системы, вынесенной на металлическом каркасе на 160 мм наружу и отделанной алюминиевыми листами с прорезями для окон и зенитных фонарей.

Корпус «Спорт» в плане имеет эллипсовидную форму (рис.10). В здании на первом этаже предусмотрены входная группа, бассейн, раздевалки с душевыми, обслуживающие помещения. Со стороны крытого бассейна с наружной стороны примыкает ванна открытого бассейна. На втором этаже расположены спортивные залы с трансформирующейся перегородкой. В наружной оболочке устроен огромный зенитный фонарь.





Рис. 8. Образовательный центр «Сириус» (Россия, Сочи):  
1 – административно-спальный корпус; 2 – «Школа»;  
3 – «Искусство» 4 - «Спорт»

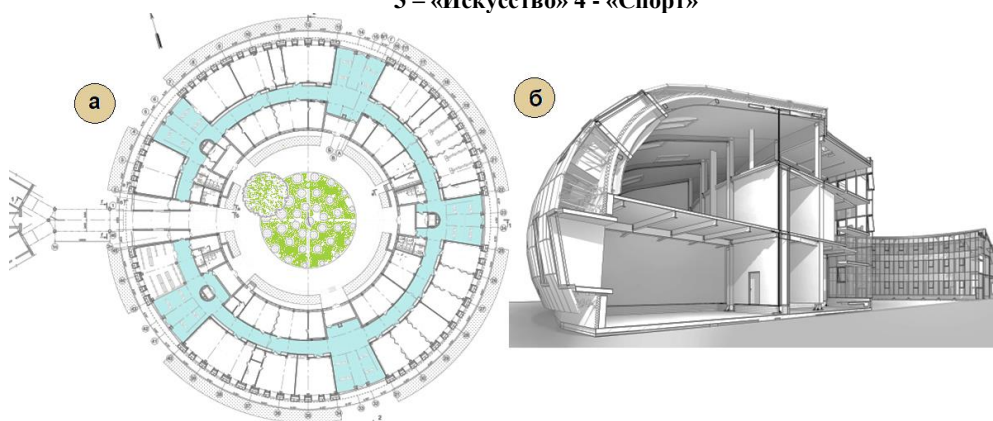


Рис. 9. Корпус «Школа» в «Сириус»:  
а – план первого этажа; б – разрез

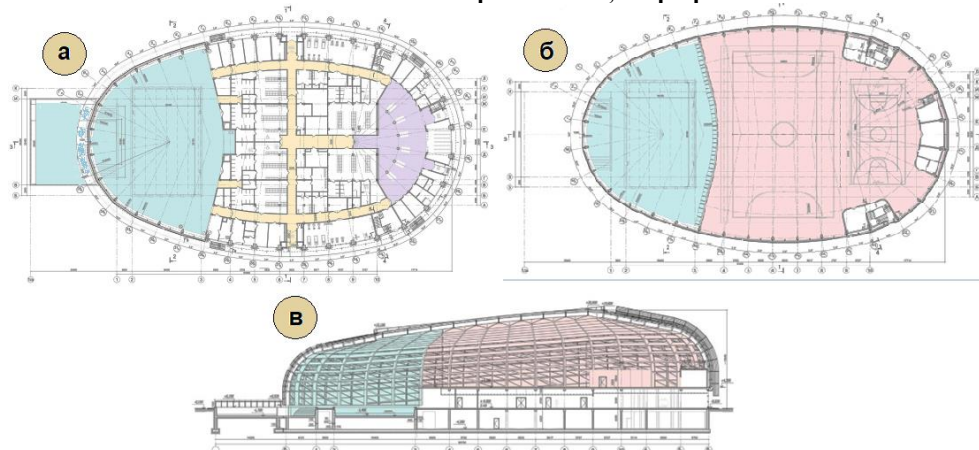


Рис. 10. Корпус «Спорт» в «Сириус»:

а – план первого этажа; б – план второго этажа; в - разрез

Корпус «Искусство» запроектирован в плане в виде «рыбки» (рис.11). Планировочное решение достаточно сложное – сочетание атриума и коридорной системы. Предусмотрены различные по площади помещения, предназначенные для занятий живописью и

скульптурой, музыкой, пением, танцами, репетиционные балетные классы и т.п. Запроектированы и концертный зал со сценической площадкой и балконами в виде открытой галереи, и выставочное пространство.





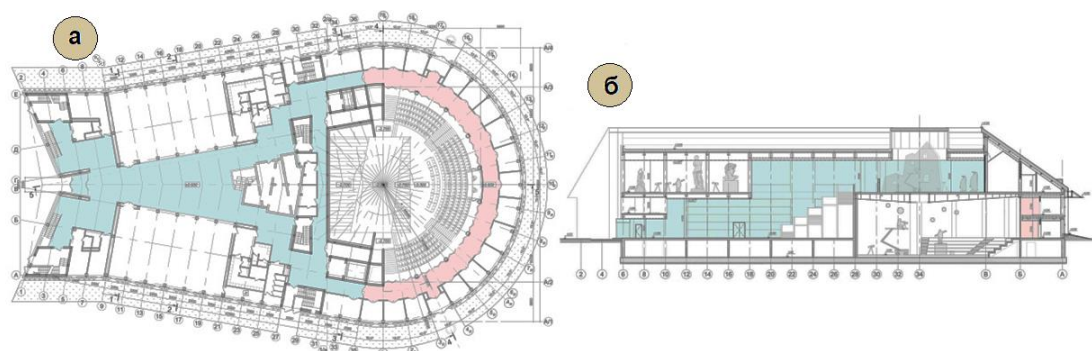


Рис. 11. Корпус «Искусство» в «Сириус»: а – план первого этажа; б – разрез

Рассмотренные строительные объекты, ориентированные на молодежь, однозначно указывают на необходимость их многофункциональной направленности, оригинальности в решении фасадов, интерьеров и конструктивных решения, открытости для большинства пользователей. Однако главным остается вопрос вовлечения подрастающего поколения в активную социокультурную жизнь, «отвоевав» его от опутывающих сетей информационного общества.

### 3.2 Концепция проектирования молодёжных центров для Республики Узбекистан

На основе анализа мирового опыта проектирования зданий молодёжных центров и изучения публикаций и собственных исследований, касающихся досуговых предпочтений этой категории граждан [10 – 13], была сформулирована архитектурно-планировочная концепция, которая может быть положена в основу создания современного пространства для молодёжи, в том числе и в Республике Узбекистан.

#### 1. Многофункциональность.

Современный молодёжный центр должен представлять собой многофункциональный комплекс, в котором основное внимание будет обращено на просвещение, саморазвитие, оказание информационных и консультативных услуг, развитие информационной культуры и обеспечение информационной безопасности личности, отдых, здоровый образ жизни, общение, приобщение к национальным ценностям и мировой культуре, сближение с окружающей средой.

Многофункциональность должна найти отражение и в благоустройстве прилегающей территории.

#### 2. Функциональное зонирование пространства.

Необходимо многоуровневое функциональное зонирование пространства молодёжного центра с элементами плавного «перетекания» из одного в другое, чтобы, с одной стороны, четко разграничить разные характеры деятельности, но, вместе с тем, заинтересовать молодежь другими направлениями активного досуга.

#### 3. Эргономичность внутреннего пространства.

Пространство здания молодёжного центра должно использоваться максимально эффективно. Лестницы, галереи, вестибюли, холлы должны стать не просто зонами коммуникаций, а и пространствами для неформального общения, организации выставок, дополнительных зрительных мест при концертных и спортивных залах.

#### 4. Технологическая интеграция.

Внедрение современных технологий (мультимедийные студии, интерактивные информационные сенсорные панели и цифровые библиотеки, компьютерные коворкинг зоны) будет способствовать повышению эффективности обучения и обмена информацией. Учитывая, что важным этапом в развитии информационного общества является внедрение роботизации, то специальные зоны для конструирования автоматизированных технических систем и демонстрации результатов должны быть максимально открытыми и доступными.

#### 5. Трансформация пространства.

Внедрение технологии трансформирующихся перегородок, позволяющих разбить большое пространство на подзоны или, наоборот, объединить малые помещения в большое, позволит быстро адаптировать здание под новые функции.

#### 6. Агитационная наглядность.

Для вовлечения молодёжи в смежные виды деятельности, тем самым способствуя её интеллектуальному росту, целесообразно использование при проектировании зданий анфиладной и атриумной планировочных систем, а также прозрачных конструкций внутренних перегородок. Создание неформальных пространств будет стимулировать молодежь к командной (совместной) работе.

Для привлечения молодых людей в работу молодёжных центров целесообразно предусматривать в значимых функциональных пространствах устройство больших витражей, ориентированных в сторону городской застройки, что позволит показать динамику происходящих внутри процессов.

#### 7. Оригинальность формы и фасадов.

Здание молодёжного центра должно привлекать внимание неожиданностью архитектурной формы, использованием необычных конструктивных решений, «игрой» с цветами и текстурами отделочных материалов, сочетать новейшие архитектурные приёмы и формы с элементами национального зодчества и декоративно-прикладного искусства.

#### 8. Включение природного компонента.

Объединяющим или дополняющим пространством молодёжного центра должен стать природный компонент в виде внутреннего озеленённого двора, оранжереи, прилегающей территории или озелененной поверхности крыши. Такие включения расширяют зоны неформального общения, отдыха и могут использоваться для проведения научных исследований.

#### 9. Инклюзивность.

Важным аспектом является создание доступной среды для людей с ограниченными возможностями. Все пространства должны быть адаптированы для комфортного использования всеми категориями населения.

#### 10. Реализация принципов устойчивой архитектуры.

Здание молодёжного центра должно быть долговечным и сейсмостойким. При проектировании следует предусматривать использование экологически чистых материалов. Наряду с традиционными системами климатизации, необходимо применять солнечные батареи и панели, ветрогенераторы, тепловые насосы, согласно эффективности их применения в конкретном районе строительства [14].

## 4. Заключение

В результате выполненных исследований установлен комплекс архитектурно-планировочных принципов формирования зданий молодёжных центров в условиях информационного общества для климатических условий Республики Узбекистан. Результаты работы могут быть использованы архитекторами при проектировании объемно-планировочных решений молодёжных пространств в условиях обучения и дальнейшей перспективы самореализации в условиях информационного общества.

Сформулированные требования к организации архитектурной среды для внеучебной деятельности молодежи позволят проводить экспертную оценку сооружений, выполняющих эти функции.

## Использованная литература / References

- [1] Бабочкин П. А. Основы работы с молодежью: учебное пособие /; под ред. Т.Э. Петровой. - М.: Альфа - М, 2010. - 220 с.
- [2] International Youth Center in Oberschleißheim / ATELIER 30 – URL: <https://www.archdaily.com/461575/international-youth-center-in-oberschleissheim-atelier-30> (дата обращения 22.03.2025)
- [3] Творческий подход к получению знаний в новом кампусе Hands-on Learning, Сеул, Южная Корея – URL: <https://apartmentinteriors.ru/creative-design-education-center-hands-on-learning/> (дата обращения 21.03.2025).
- [4] Rivas Vaciamadrid Youth Center / Mi5 Arquitectos – URL: <https://www.archdaily.com/46411/rivas-vaciamadrid-youth-center-mi5-arquitectos> (дата обращения 22.03.2025).
- [5] Raíces Educational Park / Taller Piloto Arquitectos – URL: <https://www.archdaily.com/870235/raices-educational-park-taller-piloto-arquitectos> (дата обращения 22.03.2025)

<https://www.archdaily.com/870235/raices-educational-park-taller-piloto-arquitectos> (дата обращения 22.03.2025)

[6] Полкилометра культуры – URL: <https://archi.ru/world/82473/polkilometra-kulturny> (дата обращения 22.03.2025)

[7] Auneau Cultural Center / Architecture Patrick Mauger – URL: <https://www.archdaily.com/635985/auneau-cultural-center-architecture-patrick-mauger> (дата обращения 22.03.2025)

[8] The Gary Comer Youth Center / John Ronan Architects – URL: <https://www.archdaily.com/189411/the-gary-comer-youth-center-john-ronan-architects> (дата обращения 22.03.2025)

[9] Образовательный центр для одаренных детей «Сириус» – URL: <https://archi.ru/projects/russia/14368/obrazovatelnyi-centr-dlya-odarennykh-detei-sirius> (дата обращения 23.03.2025)

[10] Щипачева Е.В., Умарова Н.Э. Современные тенденции в проектировании молодежных центров при студенческих общежитиях // «Проблемы архитектуры и строительства», 2024 г. - №1, С. 98 -100.

[11] Цветкова И.В. Типология студенческой молодежи по видам досуга // Карельский научный журнал. 2017. Т. 6. № 3(20) – С. 160 -164.

[12] Бабосова Е.С. Досуг как фактор включенности молодежи в социокультурную деятельность // Социологический альманах. 2012. №3. С.336-344

[13] ИONOBA O.B. Современные виды досуга студенческой молодежи // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. – 2015. – № 3 (35). – С. 106–113.

[14] Щипачева Е.В., Шарипова Д.Т. Применение системного анализа при оценке энергетических возможностей климата Узбекистана [Текст] // Материалы международной научно-практической конференции - Инновация-2017 / - Ташкент, 2017, С. 127-128.

## Информация об авторах / Information about the authors

<b>Щипачева Елена Владимировна/ Shchipacheva Elena Vladimirovna</b>	Ташкентский государственный транспортный университет, д.т.н., профессор кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений» e-mail: <a href="mailto:eshipacheva@mail.ru">eshipacheva@mail.ru</a> <a href="https://orcid.org/0009-0000-0489-445X">https://orcid.org/0009-0000-0489-445X</a>
<b>Умарова Назирахон Элбек кизи / Umarova Nazirahon Elbek kizi</b>	Ташкентский государственный транспортный университет, студентка 2 курса магистратуры e-mail: <a href="mailto:nazirakhon1101@gmail.com">nazirakhon1101@gmail.com</a>



## Modern approaches to designing student dormitories: energy efficiency, functionality, and social environment

S.S. Shaumarov<sup>1</sup>, D.R. Nurmukhamedova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This article analyzes contemporary trends in the design of student dormitories aimed at meeting students' needs for comfortable, safe, and energy-efficient environments. The study explores the principles of functional-compositional analysis of spatial-planning solutions and their adaptation to changes in the educational environment and social demands. Special attention is given to international experience in designing student dormitories, which has allowed for the identification of best practices in sustainable construction and the creation of a comfortable educational environment. In conclusion, recommendations are provided for improving the design solutions of student dormitories in Uzbekistan, considering the specific local climatic and economic conditions.

**Keywords:** student dormitory, design, energy efficiency, sustainable construction, social environment, architectural design, functional-compositional analysis, international experience, recreational areas, environmental technologies

## Современные подходы к проектированию студенческих общежитий: энергоэффективность, функциональность и социальная среда

Шаумаров С.С.<sup>1</sup>, Нурмухамедова Д.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Статья анализирует современные тенденции в проектировании студенческих общежитий, ориентированных на удовлетворение потребностей студентов в комфортных, безопасных и энергоэффективных условиях. В исследовании рассматриваются принципы функционально-композиционного анализа объемно-планировочных решений, а также их адаптация к изменениям образовательной среды и социальным запросам. Особое внимание уделено зарубежному опыту проектирования студенческих общежитий, что позволило выявить лучшие практики устойчивого строительства и создания комфортной образовательной среды. В заключение приведены рекомендации по совершенствованию проектных решений студенческих общежитий в Узбекистане, с учетом специфики местных климатических и экономических условий.

**Ключевые слова:** студенческое общежитие, проектирование, энергоэффективность, устойчивое строительство, социальная среда, архитектурное проектирование, функционально-композиционный анализ, зарубежный опыт, рекреационные зоны, экологические технологии

### 1. Введение

Период обучения в вузе является важным этапом для социализации молодежи, формируя основы их личностного и профессионального роста. В этом процессе немалую роль играет пространственная среда, с которой студенты постоянно взаимодействуют, особенно в условиях учебного заведения. Одним из важнейших элементов этой среды является студенческое общежитие, которое становится домом для студентов на протяжении нескольких лет их жизни в вузе. Этот вид жилища должен удовлетворять ряд социальных функций, способствующих комфортному и продуктивному пребыванию студентов: сохранение здоровья, создание благоприятного психологического климата, условия для подготовки к занятиям, а также организация досуга и отдыха.

Студенческое общежитие, являясь неотъемлемой частью университетской жизни, выполняет роль своего рода социального центра, где молодые люди не только проживают, но и активно взаимодействуют друг с другом, формируя социальные связи, которые могут

стать основой их будущих профессиональных и личных отношений. Важность этого аспекта трудно переоценить, так как общежитие способствует развитию навыков коммуникации, толерантности и способности к сотрудничеству, что является важной составляющей социальной адаптации студентов в обществе.

Однако в Республике Узбекистан многие студенческие общежития были построены еще в 70–80-х годах прошлого века по типовым проектам, и в настоящее время продолжают эксплуатироваться без значительных изменений. Сформированная в этих общежитиях предметно-пространственная среда, предполагающая коридорное расположение жилых комнат на 2–4 человека, не соответствует современным социальным запросам и требованиям, предъявляемым к учебному процессу и качеству жизни студентов. Эти здания не обеспечивают должного уровня комфорта, что негативно влияет на здоровье студентов, их успеваемость и общую удовлетворенность условиями проживания.

В ответ на эти вызовы возникает необходимость в реконструкции студенческих общежитий, что требует изменений как в объемно-планировочном решении, так





и в инженерных сетях и тепловом балансе зданий. Совершенствование позволит не только улучшить условия проживания студентов, но и создать более эффективную образовательную и социальную среду. В условиях современного мира, когда акцент на здоровье, психологический комфорт и разнообразие досуга становится все более значимым, важно переосмыслить и обновить архитектурные и функциональные подходы к проектированию студенческих общежитий.

## 2. Методология исследования

В исследовании использованы теоретические и практические материалы, которые раскрывают принципы проектирования студенческих общежитий и жилых зданий, соответствующих современным потребностям студентов. Учитываются новые требования, вызванные развитием образовательной среды, изменяющимися условиями социальной адаптации и необходимостью обеспечения комфортных и безопасных условий для проживания. Особое внимание уделяется вопросам энергоэффективности и устойчивости зданий.

Основным методом исследования является функционально-композиционный анализ проектных решений для студенческих общежитий и жилых зданий, ориентированных на удовлетворение потребностей студентов в комфортных условиях для учебы, отдыха и социальной активности. Также рассматриваются проектные решения, направленные на улучшение качества жизни студентов, создание здоровой психологической атмосферы, обеспечение энергоэффективности и создание условий для успешной социализации.

## 3. Результаты исследования

Целью исследования является анализ трансформации объёмно-планировочной структуры студенческих общежитий с учетом современных требований энергоэффективности. Особое внимание уделяется внедрению энергосберегающих технологий, таких как использование солнечных батарей, тепловых насосов и утеплённых материалов, а также оптимизации инженерных систем для снижения потребления энергии и повышения комфорта проживания студентов. Для

выявления основных тенденций в проектировании энергоэффективных студенческих общежитий был проанализирован зарубежный опыт строительства подобных объектов, что позволило выявить лучшие практики в области устойчивого строительства. Эти подходы способствуют не только снижению затрат на энергопотребление, но и созданию более комфортной, экологически чистой и безопасной среды для студентов, что особенно важно в условиях современного общества, акцентирующего внимание на экологической ответственности.

### 3.1 Зарубежный опыт проектирования молодежных объектов

*Назарбаев Университет, город Нур – Султан.*

Назарбаев Университет представляет собой целый университетский комплекс – кампус. Здесь находятся все условия для учебы, для отдыха обучающихся и преподавателей. Территория университетского комплекса занимает 95 га. Он включает в себя научную и учебную зоны, спортивный комплекс, общественный парк, студенческие общежития и жилые дома для преподавателей. Кампус разбит на функциональные зоны, связанные между собой. В нем есть современные учебные кабинеты, научные лаборатории и библиотека.

Визитной карточкой главного университета страны является атриум. Украшением, центром, ядром центральной части холла является вечнозеленые пальмы, фонтаны разных цветов с подсветкой и бассейн, создающий уютную атмосферу где можно прогуляться между занятиями в холодную погоду. Учебные корпуса имеют вид на амфитеатр (Рис. 1а).

Студенческое общежитие – целый комплекс со своими кинозалами, клубами по интересам, концертными и спортивными залами. Все эти здания общежития имеет в плане прямоугольную форму с большим атриумом. Общежития для студентов построены по технологии зеленого кампуса: все материалы использованные при строительстве экологически чистые и безопасные. В кампусе есть специальные места для сбора макулатуры. А для удовлетворения потребностей горячей воды использованы солнечные батареи также разработанные в университете. Кроме всего, для обогрева здания используют тепловые насосы и энергосберегающие стеклопакеты. Все эти технологии придуманы научной лабораторией университета Назарбаева. [1] (рис. 1б,1в).



Рис. 1. Назарбаев Университет, город Нур – Султан: а - атриум; б – многоэтажное общежития для магистрантов и учителей; в - жилые комнаты общежития

*Университет Иннополис, Республика Татарстан*

Здание университета напоминает корабль очень интересной формы. Сейчас в современных городах очень много стеклянных зданий. Но, архитекторы проектировщики данного проекта не использовали

монотонность фасада за счет импровизации с рельефом из дерева. Корпус университета как бы плывет – волнистые, плавные линии где то увеличиваются, где то идут на минимум. Так, фасад университета не смотрится скучным, монотонным, однотипным. Эти же линии на



фасадах повторяют линии природы где находится университет и рельефы этого места. Группа консолей увеличивает здание вверх, и складывается впечатление что массивный кампус университета парит над землей. (Рис. 2а). Внутри корпуса достаточно естественного освещения и пространства за счет просторного атриума. Внутренняя часть кампуса состоит из разных коридоров - переходов, которые являются главными составляющими. Отдельные невесомые кабинеты удивляют своей легкостью. Архитекторы и дизайнеры выбрали именно белый и зеленый цвет, для отделки внутреннего пространства, что является связью между природой с городом.

Студентам университета очень повезло и им нравится что, в самую плохую погоду им не обязательно

выходить на улицу. Так как есть из здания корпуса отдельные входы и выходы. Так, они могут попасть в свое общежитие по подземным переходам. Один такой подземный коридор объединяет учебный корпус с четырьмя жилыми студенческими общежитиями. Комплекс университетского городка продолжают жилые студенческие общежития, состоящий из 5 этажей. На фасадах архитекторы также использовали интересную игру. Для облицовки применялись рок панели серого, белого цвета, имитирующие дерево разных оттенков, из которых получилась мозаика. Сами панели теплозащитные, они производятся из каменной ваты и имеют высокий уровень пожароустойчивости (рис.2б).



Рис. 2. Университет Иннополис, Республика Татарстан:

а - общий вид; б – корпуса университета

#### **Общежитие Новосибирского государственного университета**

Планировка общежитий коридорного типа включает в себя как одноместные, так и двухместные жилые комнаты. Каждый жилой блок имеет коридор, санузел с доступной сантехникой, ванную комнату и кухню, которая обслуживает весь этаж. В общежитии расположено 526 жилых комнат, предназначенных для 1-2 человек. Как указано, на каждом этаже есть общая кухня с необходимой мебелью, холодильниками и электроплитами, а также комнаты для учебы, досуга и отдыха. В цокольном этаже находится прачечная с стиральными машинами, комнатой для глажки и сушки

одежды, а на первом этаже – столовая (кафетерий). Студенты 1-2 курсов проживают в больших, светлых и уютных комнатах по 3 человека, что дает им возможность познакомиться с новыми людьми из разных городов и стран. Студенты 3-4 курсов размещаются в более компактных комнатах для 1-2 человек, которые тем не менее также удобны и уютны. Каждая комната оборудована стандартной мебелью: кроватью, столом, стульями, прикроватной тумбой, шкафом для одежды и полочками. Для родственников студентов предусмотрены специальные зоны для отдыха и временного проживания во время визитов.



Рис. 3. Общежитие Новосибирского государственного университета

а-фасад, б - интерьер

**Студенческий городок Тьетген в городе Копенгаген** представляет собой уникальное общежитие круглой формы с большим внутренним двором. Сданный в 2006 году, кампус включает 7 этажей и 360 жилых комнат общей площадью 26 800 кв.м. Архитектурное решение символизирует единство и равенство, а пять вертикальных линий разделяют здание

на функциональные зоны, соединённые проходными арками, ведущими во двор. Кухни для студентов расположены по одной на каждые 12 жилых комнат, каждая оборудована необходимой мебелью, морозильниками и плитами.

Каждая жилой комнаты имеет площадь от 26 до 33 кв.м, а для семейных или магистрантов предусмотрены



30 двухкомнатных апартаментов площадью 45 кв.м. Все комнаты имеют одинаковую форму с широкой частью, параллельной двери, и обеспечены окнами с прекрасным видом на канал и окрестности. Размещение комнат, окон и террас создаёт функциональное и гармоничное пространство, где каждый уголок наполнен светом и свежим воздухом [2].

Фасад здания облицован медным сплавом с раздвижными перегородками для регулирования света и температуры, что делает здание энергоэффективным и

удобным для проживания в любое время суток. Этот материал позволяет легко поддерживать стены в чистоте и минимизировать необходимость в частом ремонте.

Цель проекта заключается в создании инновационного и комфортного студенческого общежития, которое обеспечивает студентов не только современными и удобными условиями для проживания, но и способствует развитию социальной среды, поддерживает энергоэффективность и устойчивость здания.

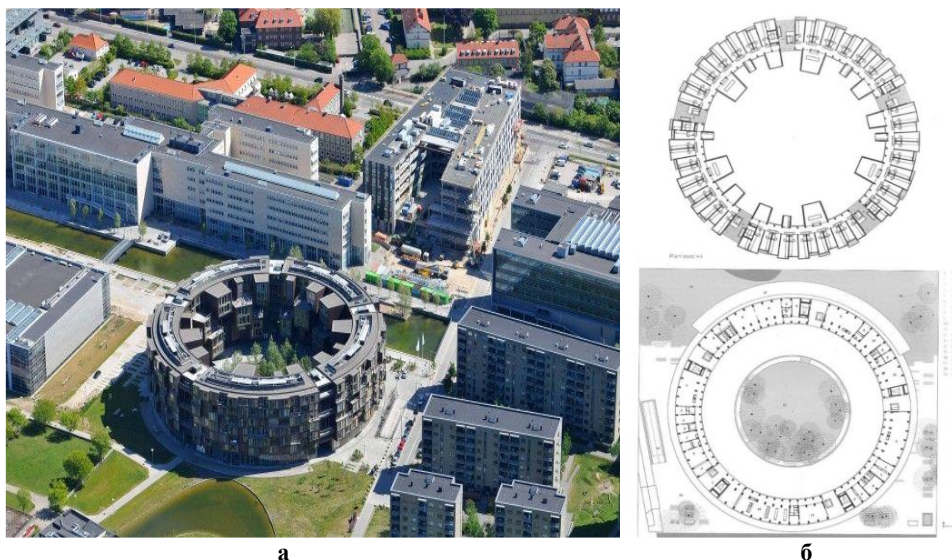


Рис. 4. Студенческий городок Тьетген в городе Копенгаген  
а – общий вид; б – планы этажей:

#### **Общежитие Массачусетского Технологического института «Simmons Hall» в городе Бостон**

Целью проекта было объединить пространство вокруг и внутри кампуса. МТИ хотели сделать здание функциональным, а архитектор Холл хотел создать необычной формы корпус для того чтобы студенты и не только получали эстетическое наслаждение смотря на здание и удивляясь незабываем дизайном здания. В результате совместной работы МТИ и архитектурного проектировщика Холла было реализовано десятиэтажное здание для проживания студентов, которое стало своего рода «городом в городе». Проект сочетает различные архитектурные решения и

элементы, включая комбинацию твердых тел и пустот, а также контраст между непрозрачностью и прозрачностью. Конструктивное решение, предложенное проектировщиком, позволило зданию функционировать как «губка», создавая пористую структуру, через которую естественный свет проникает в помещения. Такие отверстия не только обеспечивают поступление дневного света, но и способствуют циркуляции воздуха, что улучшает условия для ориентации студентов на этажах и в целом повышает комфорт проживания. На оригинальных эскизах архитектора видно, как эти отверстия выполняют функции как освещения, так и вентиляции (рис. 5б).

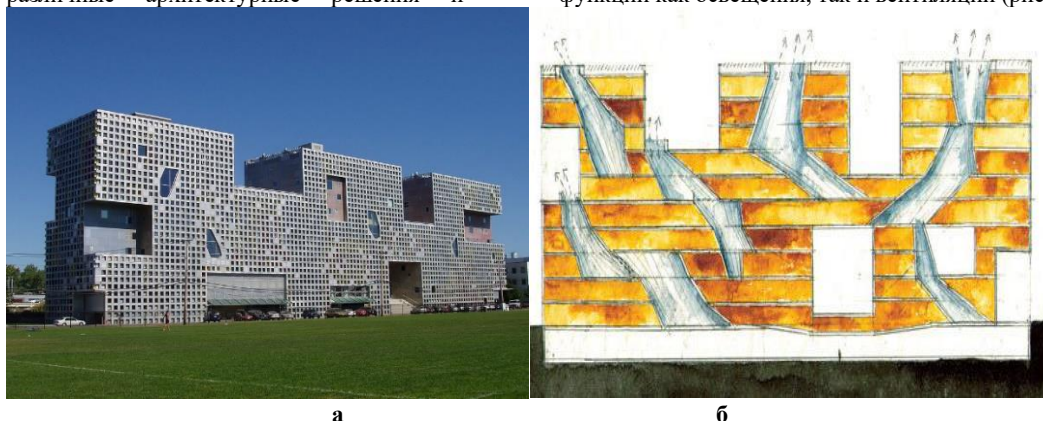


Рис. 5. Общежитие Массачусетского Технологического института «Simmons Hall», г.Бостон, США  
а – общий вид; б – циркуляция воздуха в корпусе:



**Bikuben Kollegiet – общежитие в стиле кубизм.** Здание состоит из 107 студийных квартир на шести этажах и включает тренажерный зал, прачечную, террасы и комнату для вечеринок. Как и в общежитии Tietgen, на каждом этаже имеются общие кухни и гостиные, способствующие созданию социальных связей между жителями.

Архитекторы отметили, что «одиночество и отсутствие социальных связей — основные проблемы для многих студентов». Их целью было «обеспечить максимальное взаимодействие между общими и частными помещениями, при этом гарантируя приватность каждой квартиры». Основным архитектурным решением для достижения этого является «двойная спираль», окружающая атриум в центре кубовидного здания.

Этот атриум является сложным пространством, границы которого разделяют общие помещения,

террасы, соединенные с внешней частью здания, и вертикальные коммуникации. Взаимодействие происходит по-разному: при движении по зданию, приготовлении пищи на кухне или просто сидя в гостиной и наблюдая за пространством. Разнообразие пространств и ориентация этих общих зон делает решение об ориентации проекта на социальное взаимодействие успешным. [3]

Сложная схема циркуляции и общих пространств выражена в вырезанных террасах, обвивающих четыре стороны здания, что дополнительно подчеркивается ярким оранжевым цветом вертикальных коммуникаций. Остальная часть фасада выполнена в виде шахматного узора светлых и темных серых блоков, что визуально скрывает окна, создавая иллюзию анонимности и приватности для отдельных жилых помещений.

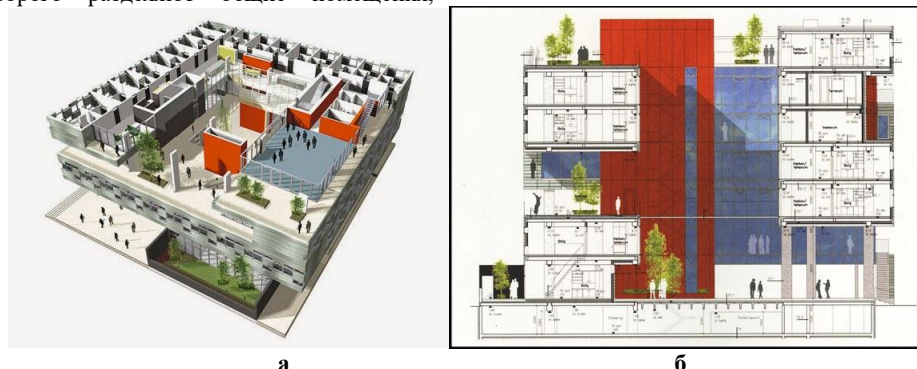


Рис. 6. Bikuben Kollegiet – общежитие в стиле кубизм  
а – план; б – разрез:

В итоге, хотя зарубежные примеры проектирования студенческих общежитий представляют собой высокоэффективные и инновационные решения, проектирование общежитий в Узбекистане должно учитывать специфические климатические и экономические условия, ограниченные инвестиции в новые технологии и необходимость адаптации к местным реалиям.

### 3.2 Рекомендации

На основе анализа мирового опыта проектирования студенческих общежитий и изучения публикаций, не менее важным аспектом является связь с природой. В проектировании общежитий важно использовать элементы, такие как атриумы, внутренние дворы и

просторные окна, которые способствуют максимальному использованию солнечного света и обеспечению естественной вентиляции. Это позволит создать здоровую и приятную атмосферу для студентов и снизить зависимость от искусственного освещения и кондиционирования.

Кроме того, идея подчеркивает необходимость инклюзивности и доступности зданий для всех студентов, включая инвалидов, что требует создания безбарьерной среды и удобных элементов инфраструктуры, таких как лифты и пандусы.

На основе анализа можно составить видоизмененную схему функционального зонирования (рис. 7), включающую в себя дополнительные зоны в общественной части, а также более мелкие жилые ячейки с отдельной кухней и санузлом для повышенной комфортности проживания. [5]- [8]



Рис. 7. Полноценная функциональная структура общежитий для студентов вузов с сочетанием жилой и учебно-досуговой части

Сочетание социокультурной, торгово-развлекательной и административно-деловой функций в пространстве жилой среды приводит к ее архитектурно-пространственному и функциональному разнообразию.

Основной идеей предлагаемого проекта является создание своеобразного блока зданий, включающего в себя несколько жилых корпусов, объединенных первым нежилым этажом. Типовой этаж здания представляет собой группу комфортабельных жилых ячеек, созданных по принципу мини-квартир на двух человек с собственным санузлом и кухней-нишей, организованных вокруг общественной зоны. Общественная и рекреационная зона совмещают в себе как открытые, так и обособленные пространства для отдыха и занятий.

Рациональной компактностью характеризуются так называемые ширококорпусные общежития. Такие общежития позволяют снизить теплопотери, микроклимат в них более устойчив, менее подвержен ветровому «выдуванию», выхолаживанию помещений квартир. Поэтому там, где это возможно, следует стремиться к уширению корпуса проектируемого жилого здания, поскольку это обеспечивает снижение теплопотерь за счет улучшения коэффициента компактности. При разработке индивидуальных проектов могут быть предложены другие архитектурно-планировочные решения, обеспечивающие теплоэффективность жилого здания. В частности имеются планировочные решения зданий, основанные на лучевом расположении квартир. Такой планировочный прием позволяет размещать большее количество квартир на этаже (от 8 до 12) без удлинения внеквартирных коммуникаций. Эти решения обеспечивают уменьшение периметра наружных стен на единицу общей площади дома, уменьшение длины наружных и внутренних инженерных коммуникаций, увеличение нагрузки на лифты, что в конечном итоге ведет к экономному расходованию энергетических ресурсов. Основные вне-квартирные коридоры при данном планировочном решении могут быть освещены вторым светом.

## 4. Заключение

Результаты исследования показали, что объемно-планировочные решения играют ключевую роль в создании комфортных и функциональных студенческих общежитий. Тщательно продуманная структура зданий и их ориентация на местные климатические условия способствуют не только удобству проживания, но и улучшению энергоэффективности.

Особое внимание следует уделить концепции использования природных ресурсов, таких как солнечное освещение и естественная вентиляция. Просторные внутренние дворы, фасады с ориентацией на солнечные лучи и встроенные атриумы обеспечивают равномерное освещение и эффективную циркуляцию воздуха, что снижает зависимость от искусственного освещения и кондиционирования.

Кроме того, общее распределение функциональных зон, включая общие помещения, такие как кухни и столовые, и их интеграция с жилыми блоками помогает оптимизировать использование пространства и

ресурсов. Это не только улучшает условия для студентов, но и способствует экономии энергии.

Концепция энергоэффективности также включает использование современных строительных материалов и технологий. Утепленные стены, солнечные батареи и тепловые насосы — всё это помогает снизить потребности в отоплении и охлаждении, повышая устойчивость зданий. [9]- [10]

Таким образом, объемно-планировочные решения, интегрированные с современными технологиями, создают сбалансированную среду, которая отвечает потребностям студентов и поддерживает принцип устойчивого развития.

## Использованная литература / References

- [1] Матанбек Айя Серикбаевна «Многоэтажное общежитие для КазНУ со ... Назарбаев Университет
- [2] представляет целый университетский комплекс — кампус. <https://official.satbayev.university/download/document/11343/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B1%D0%B5%D0%BA.pdf>
- [3] Алексеев, Ю. В. Проблема функционально-планировочной организации зданий московских общежитий и пути их решения [Текст] / Ю. В. Алексеев, Г. Ю. Сомов, Н. Г. Старостина, А. В. Попов // Жилищное строительство. 2013. №4. - М.: РИФ Стройматериалы, - С. 8-11.
- [4] Беккер, И. Л. Проблема социализации студенческой молодежи в современных условиях [Текст] / И. Л. Беккер, В. Н. Журавчик // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2009. №16, - Пенза : Пензенский гос. пед. ун-т им. В.Г. Белинского, - С. 141-151. ШНК 2.08.02-09\* "Общественные здания и сооружения", КМК 2.01.04-97\*
- [5] Мазаник, А. В. Типологические особенности молодежных общежитий // Архитектурное наследие Прибужского региона. Проблемы. Исследования. Тенденции развития: сб. науч. тр. V междунар. науч.-практ. конф. / БрГТУ; редкол.: Морозов В. Ф. [и др.]. - Брест : Изд-во БрГТУ, 2014. - С. 89—93.
- [6] Полкилометра культуры — URL: <https://archi.ru/world/82473/polkilometra-kultury> (дата обращения 22.03.2025)
- [7] Светопрозрачные конструкции в России: состояние и перспективы развития. URL: <http://www.stroy-profi.info/archive/11461> (Дата обращения: 22.05.14).
- [8] Мингяшаров А.Х. Влияние «зеленой кровли» на энергоэффективность зданий // Наука, техника и образование, 2020. № 9 (73). С. 95-97.
- [9] Боровкова, А.А. Основная проблематика и тенденции формирования студенческого жилья. Объемно-планировочное решение студенческих общежитий Полоцкого государственного университета / А.А. Боровкова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. — 2016. — С. 18—23.
- [10] Проектирование энергоэффективных зданий в сфере транспорта. Учебник. Щипачева Е.В. ПГТУ, — Т., 2023. — 283 с.





**Информация об авторах/  
Information about the authors**

**Шаумаров Саид  
Санатович/  
Shaumarov Said  
Sanatovich**

Ташкентский государственный  
транспортный университет,  
д.т.н., профессор кафедры  
«Строительство зданий и  
промышленных сооружений»  
e-mail: shoumarovss@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-8935-7513>

**Нурмухамедова  
Диёра Рустам  
кизи/  
Nurmukhamedova  
Diyora Rustam  
kizi**

Ташкентский государственный  
транспортный университет,  
студентка 2 курса магистратуры  
e-mail:  
[nurmuhamedova\\_di@mail.ru](mailto:nurmuhamedova_di@mail.ru)





## Digital technologies in urban planning: a development vector for Uzbekistan

K.T. Markabaeva<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Karakalpak State University, Nukus, Uzbekistan

**Abstract:** In the context of the rapid development of digital technologies, urban planning design is becoming a key area for their implementation. The article examines modern digital tools, including building information modeling technologies (BIM), geoinformation systems (GIS), digital counterparts, and platform solutions used in international practice. Special attention was paid to analyzing the current state of digitalization in Uzbekistan's urban planning sector, identifying barriers and implementation prospects. A comparative analysis with foreign examples was conducted, and directions for the development of the national digital platform were proposed. The research results show that with comprehensive state support, personnel training, and the creation of a regulatory framework, Uzbekistan can accelerate the implementation of digital solutions in the architectural and construction industry, thereby increasing energy efficiency, sustainability, and the quality of the urban environment.

**Keywords:** digitalization, urban planning, BIM, digital twins, GIS, Uzbekistan, smart city, digital transformation

## Цифровые технологии в градостроительном проектировании: вектор развития для Узбекистана

Маркабаева К.Т.<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Каракалпакский государственный университет, Нукус, Узбекистан

**Аннотация:** В условиях стремительного развития цифровых технологий градостроительное проектирование становится ключевой областью для их внедрения. В статье рассматриваются современные цифровые инструменты, включая технологии информационного моделирования зданий (BIM), геоинформационные системы (ГИС), цифровые двойники и платформенные решения, применяемые в международной практике. Особое внимание уделено анализу текущего состояния цифровизации градостроительной сферы Узбекистана, выявлению барьеров и перспектив внедрения. Проведён сравнительный анализ с зарубежными примерами, предложены направления развития национальной цифровой платформы. Результаты исследования показывают, что при комплексной поддержке государства, подготовке кадров и создании нормативной базы, Узбекистан способен ускорить внедрение цифровых решений в архитектурно-строительную отрасль, повысив тем самым энергоэффективность, устойчивость и качество городской среды.

**Ключевые слова:** цифровизация, градостроительное проектирование, BIM, цифровые двойники, ГИС, Узбекистан, умный город, цифровая трансформация 0009-0007-1710-8228

### 1. Введение

Современный этап урбанистического развития характеризуется ростом населения городов, усложнением пространственного планирования, повышением требований к энергоэффективности зданий и устойчивому использованию ресурсов. В этих условиях цифровизация градостроительного проектирования становится неотъемлемым условием эффективного развития городской среды. Информационные технологии позволяют перейти от традиционного чертёжного подхода к интегрированным цифровым моделям, обеспечивающим междисциплинарное взаимодействие и оптимизацию жизненного цикла объектов [1].

На международной арене активно применяются платформы, основанные на BIM (Building Information Modeling), ГИС (геоинформационных системах), цифровых двойниках и алгоритмическом

моделировании сценариев развития территорий. Они позволяют не только повысить качество проектных решений, но и обеспечить прозрачность процессов, точность оценки затрат, экологическую устойчивость и вовлечённость общественности [2].

Для Узбекистана, находящегося в фазе масштабных градостроительных преобразований, внедрение цифровых технологий представляет собой стратегически важное направление. В стране реализуются масштабные программы по модернизации городской инфраструктуры, строительству новых жилых и общественных комплексов, созданию "умных городов". Однако уровень цифровизации проектной отрасли всё ещё остаётся на начальной стадии, что создаёт препятствия на пути повышения качества архитектурных решений и устойчивого планирования [3].

Актуальность данного исследования определяется необходимостью системного осмысления перспектив внедрения цифровых технологий в градостроительную практику Узбекистана, анализа международного опыта,

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0007-1710-8228>



а также формулировки конкретных предложений по созданию эффективной цифровой платформы, адаптированной к национальным условиям.

Целью настоящей статьи является исследование современных тенденций цифровизации в области градостроительного проектирования, анализ барьеров и возможностей их применения в Узбекистане, а также формирование вектора развития национальной цифровой среды в проектной сфере.

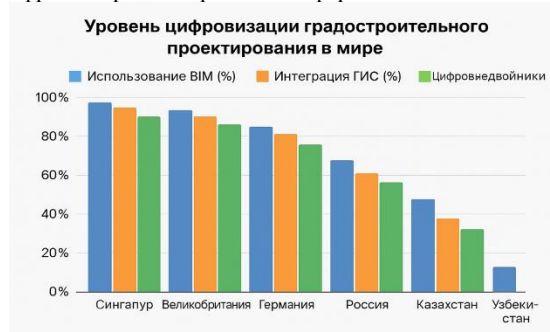


Рис. 1. Уровень цифровизации градостроительного проектирования в мире

## 2. Методология исследования

В настоящем исследовании применён комплексный аналитический подход, включающий следующие методы:

1. Контент-анализ международных и национальных источников

Проведён системный анализ стратегий цифрового развития, нормативных документов и научных публикаций в сфере градостроительного проектирования. Особое внимание уделено опыту стран с высоким уровнем цифровой зрелости — Сингапура, Великобритании, Германии, а также регионов СНГ.

2. Сравнительно-статистический анализ

На основе собранных данных выполнено сравнение уровней внедрения ключевых цифровых технологий (BIM, ГИС, цифровые двойники) в различных странах, включая Узбекистан. Данные визуализированы в виде таблиц и диаграмм, что позволило наглядно оценить положение Узбекистана на общем фоне.

3. SWOT-анализ цифровой трансформации проектной сферы Узбекистана

Оценены сильные и слабые стороны, внешние возможности и потенциальные угрозы при внедрении цифровых решений в градостроительное проектирование Узбекистана. Этот анализ позволяет определить направления для выработки стратегических шагов.

## 3. Результаты исследования

### Общая оценка цифровизации градостроительного сектора Узбекистана

Проведённый контент-анализ нормативно-правовой базы, статистических данных и открытых источников показал, что в Узбекистане цифровизация градостроительного проектирования находится на начальном этапе. Несмотря на наличие таких инициатив, как «Цифровой Узбекистан – 2030»,

внедрение инновационных решений в архитектурно-строительном секторе идёт медленно. На 2024 год:

- Только 5–7% архитектурно-проектных организаций используют BIM на начальном уровне;
- Применение геоинформационных систем (ГИС) ограничено картографией и учётом земель;
- Отсутствуют примеры реализации цифровых двойников в контексте городского планирования;
- Все согласования по проектам осуществляются в бумажной или полудигитальной форме;
- Не существует национальной цифровой платформы для проектирования и согласования.

Таким образом, градостроительный сектор Узбекистана испытывает недостаток в институциональной, кадровой и цифровой зрелости.

### Международные подходы: сравнение и заимствование опыта

Мировая практика демонстрирует эффективность цифровых решений в обеспечении устойчивого и умного развития городов. Рассмотрим ключевые кейсы:

• **Сингапур** реализует программу **Virtual Singapore**, в рамках которой создан цифровой двойник всего города с 3D-моделями зданий, инфраструктуры и землепользования. Это позволяет точно прогнозировать трафик, энергопотребление и экологические показатели.

• **Великобритания** внедрила обязательное использование **BIM уровня 2** для всех государственных проектов. Это снизило стоимость проектирования на 20–25%.

• В **Германии** и **Франции** активно развиваются цифровые платформы на базе открытого программного обеспечения (например, KROQI, BIMserver).

**Узбекистан** имеет возможность адаптировать эти подходы с учётом национальных особенностей: многоэтажного строительства, плотной городской застройки, сейсмоопасных территорий и континентального климата.

### Основные барьеры цифровой трансформации

В результате анализа источников, в том числе отчётов UN-Habitat, Министерства строительства Узбекистана, а также публикаций в базе Scopus, выявлены следующие структурные барьеры:

1. **Низкий уровень цифровой грамотности** специалистов архитектурно-строительной отрасли. По данным опросов, менее 20% инженеров владеют современными цифровыми инструментами на базовом уровне.

2. **Отсутствие стандартов BIM и ГИС-интеграции.** В Узбекистане пока не утверждены ни BIM-классификаторы, ни нормативы обмена цифровыми данными.

3. **Финансовые ограничения.** Лицензионное программное обеспечение (Revit, ArchiCAD, Civil 3D) остаётся дорогим для многих частных компаний.

4. **Нехватка подготовленных кадров.** Вузы обучают в основном по классическим методам, и цифровые дисциплины вводятся крайне медленно.

5. **Устаревшие формы согласования.** Отсутствие цифровой единой системы между муниципалитетами, архитекторами и госорганами замедляет развитие проектов.

### SWOT-анализ

Для комплексной оценки перспектив цифровизации в Узбекистане был составлен SWOT-анализ:

Сильные стороны (Strengths)	Слабые стороны (Weaknesses)
Поддержка государства (программа "Цифровой Узбекистан")	Отсутствие стандартов и цифровой экосистемы
Рост интереса частного сектора к BIM	Низкий уровень подготовки кадров
Развитие ИТ-инфраструктуры (5G, ЦОД, облачные технологии)	Отсутствие специализированного софта на узбекском языке
Возможности (Opportunities)	Угрозы (Threats)
Внедрение национальной цифровой платформы проектирования	Зависимость от импорта ПО и ИТ-экспертов
Международное сотрудничество (ADB, UNDP, GIZ)	Рост цифрового разрыва между регионами
Экспорт цифровых услуг в строительстве в Центральной Азии	Консерватизм профессионального сообщества

## 4. Обсуждение

Результаты исследования подтверждают, что Узбекистан существенно отстает от развитых стран в области цифрового градостроительного проектирования. Несмотря на наличие отдельных инициатив и государственной программы «Цифровой Узбекистан – 2030», внедрение ключевых технологий, таких как BIM, ГИС и цифровые двойники, происходит медленно и без системного подхода.

BIM (Building Information Modeling) в странах-лидерах, таких как Сингапур и Великобритания, является обязательным для всех государственных проектов, что обеспечивает прозрачность, точность и эффективность в управлении строительным процессом. В Узбекистане, напротив, использование BIM ограничивается несколькими пилотными проектами, часто реализуемыми при поддержке международных организаций.

Геоинформационные системы (ГИС) активно используются в странах ЕС и Азии для пространственного планирования, оценки рисков и управления инфраструктурой. Однако в Узбекистане они применяются, в основном, в картографии и кадастре, и не интегрированы в градостроительные решения. Отсутствие единой платформы пространственных данных также снижает потенциал ГИС-технологий.

Цифровые двойники, обеспечивающие моделирование поведения городской среды в реальном времени, стали основой концепции «умного города» (Smart City) в таких странах, как Южная Корея и ОАЭ. В Узбекистане эта технология пока отсутствует даже на уровне концептуального проектирования, несмотря на растущую урбанизацию и усложнение городской инфраструктуры.

В ходе обсуждения выявлены следующие ключевые барьеры:

- Низкий уровень цифровой грамотности специалистов в сфере строительства и архитектуры;

- Отсутствие стандартов и нормативов, регулирующих использование цифровых технологий в градостроительстве;

- Фрагментированность ИТ-инфраструктуры и слабая координация между ведомствами;

- Ограниченное финансирование и отсутствие механизмов государственного стимулирования цифровых решений.

Вместе с тем, имеется ряд возможностей:

- Старт программ импортозамещения цифровых решений с разработкой локальных BIM-платформ;

- Привлечение международных грантов и инвестиционных программ (например, ЕБРР, UNDP);

- Включение цифровых компетенций в учебные программы вузов и повышение квалификации действующих специалистов.

Таким образом, обсуждение показало, что при правильной политической воле, инвестиционной поддержке и кадровом обеспечении, Узбекистан может пройти путь цифровой трансформации в сфере градостроительства за 5–7 лет, перенимая адаптированный международный опыт.

## 5. Заключение

Цифровизация градостроительного проектирования представляет собой неотъемлемую часть устойчивого развития и повышения энергоэффективности городской среды. Проведенный анализ показал, что, несмотря на глобальные тенденции и наличие передового международного опыта, Узбекистан находится на начальном этапе внедрения цифровых решений. Основные препятствия — это недостаток цифровой грамотности, слабая нормативная база, отсутствие единой цифровой платформы и ограниченное финансирование.

Вместе с тем, страна обладает высоким потенциалом для цифровой трансформации в строительной сфере. При комплексном подходе, включающем нормативное регулирование, инвестиции в цифровую инфраструктуру и подготовку квалифицированных кадров, Узбекистан может в ближайшие годы внедрить современные инструменты BIM, ГИС и цифровых двойников в национальную градостроительную практику. Это позволит сократить сроки проектирования, повысить энергоэффективность объектов и обеспечить прозрачность всех этапов жизненного цикла зданий и инфраструктуры.

## Использованная литература / References

- [1] Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- [2] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* (2nd ed.). Wiley.
- [3] World Bank Group. (2021). *Digital Infrastructure in Uzbekistan: Diagnostic and Recommendations*. Washington, D.C.



[4] United Nations. (2022). UN E-Government Survey 2022: The Future of Digital Government. Department of Economic and Social Affairs.

[5] Ershova, N.V., & Nikiforov, V.A. (2020). Цифровизация в градостроительстве: вызовы и перспективы. Градостроительство, 3(25), 12–18.

[6] Khodjaev, A., & Mamatkulov, R. (2021). Application of BIM technologies in the construction industry of Uzbekistan. International Journal of Engineering and Information Systems, 5(10), 108–112.

[7] OECD. (2020). Digital Government Index: 2019 results. OECD Public Governance Policy Papers, No. 03.

[8] Gurbanova, D. (2023). Digital urbanism and smart city development in Central Asia: A case study of Tashkent.

Central Asian Survey, 42(1), 88–105.  
<https://doi.org/10.1080/02634937.2023.2170900>.

## Информация об авторах/ Information about the authors

**Маркабаева** Каракалпакский государственный  
**Кундуз** университет. Ассистент кафедры  
**Тенеловна** «Градостроительства и хозяйства»,  
e-mail: [qmarkabaeva@gmail.com](mailto:qmarkabaeva@gmail.com)  
Tel.: +998 90 724 35 94  
<https://orcid.org/0009-0007-1710-8228>





# Energy efficiency of buildings: world experience and prospects for Uzbekistan

E.M. Urazkhanova<sup>1</sup> <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Karakalpak State University, Nukus, Uzbekistan

**Abstract:** The article is dedicated to the current problem of energy efficiency of buildings and structures, with a focus on the application of energy-efficient technologies in Uzbekistan. The experience of foreign countries in the construction of energy-efficient buildings, including the use of passive houses and modern thermal insulation materials, is considered. The article also analyzes Uzbekistan's climatic features, which influence the choice of technologies and materials for construction. Special attention was paid to the issues of legislative and financial support, as well as the need to develop technologies adapted to local conditions. In conclusion, it is concluded that the transition to energy-efficient construction is important for the sustainable development of the country's economy and ecology.

**Keywords:** energy efficiency, construction, thermal insulation, passive houses, sustainable development, Uzbekistan, renewable energy sources, legislation, climate conditions, energy economy

## Энергоэффективность зданий: мировой опыт и перспективы для Узбекистана

Уразханова Э.М.<sup>1</sup> <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Каракалпакский государственный университет, Нукус, Узбекистан

**Аннотация:** Статья посвящена актуальной проблеме энергоэффективности зданий и сооружений, с фокусом на применении энергоэффективных технологий в Узбекистане. Рассматривается опыт зарубежных стран в области строительства энергоэффективных зданий, включая использование пассивных домов и современных теплоизоляционных материалов. В статье также анализируются климатические особенности Узбекистана, которые оказывают влияние на выбор технологий и материалов для строительства. Особое внимание уделено вопросам законодательной и финансовой поддержки, а также необходимости разработки адаптированных под местные условия технологий. В завершение, делается вывод о важности перехода к энергоэффективному строительству для устойчивого развития экономики и экологии страны.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, строительство, теплоизоляция, пассивные дома, устойчивое развитие, Узбекистан, возобновляемые источники энергии, законодательство, климатические условия, энергоэкономика

### 1. Введение

В последние десятилетия вопросы энергоэффективности зданий становятся все более актуальными на глобальном уровне. Повышение энергосбережения и снижение потребления ресурсов в строительной отрасли имеет важное значение как для устойчивого развития экономики, так и для сохранения окружающей среды. В условиях глобальных изменений климата, стремительного роста населения и ограниченности энергетических ресурсов, внедрение энергоэффективных технологий в строительство становится необходимостью. По данным Международного энергетического агентства, здания и сооружения являются одним из самых крупных потребителей энергии в мире, а строительный сектор отвечает за около 40% мировых выбросов углекислого газа, что делает этот сектор важным направлением в борьбе с климатическими изменениями.

Энергоэффективность зданий напрямую влияет на их эксплуатационные расходы, а также на уровень комфорта и здоровья жителей. В странах с холодными

климатическими условиями отопление занимает основную долю в энергопотреблении, в то время как в более теплых странах важными являются вопросы теплоизоляции и потребности в охлаждении помещений. В этом контексте разработка и внедрение новых строительных технологий, использование инновационных материалов и улучшение проектных решений становятся ключевыми направлениями в строительной отрасли.

Для стран с развивающимися экономиками, таких как Узбекистан, вопрос энергоэффективности зданий приобретает особую значимость. В Узбекистане энергетический сектор сталкивается с рядом вызовов, включая высокий уровень потребления энергии на отопление и охлаждение, устаревшие технологии строительства и недостаточную энергоэффективность существующих зданий. Поэтому создание и внедрение энергоэффективных зданий становится важным шагом на пути к устойчивому развитию страны.

В Узбекистане предпринимаются шаги по улучшению ситуации в области энергоэффективности. Принятие законодательных инициатив и программ, направленных на повышение энергетической эффективности, а также развитие стандартов и методик

<sup>a</sup>  <https://orcid.org/0009-0007-8846-1686>



для оценки энергетической эффективности зданий являются основными направлениями государственной политики. С помощью этих мер предполагается улучшить не только энергетические характеристики зданий, но и общий уровень жизни населения. Важно также учитывать мировой опыт в данной области, так как многие страны уже успешно реализуют программы по повышению энергоэффективности в строительстве, что позволяет Узбекистану заимствовать лучшие практики и адаптировать их с учетом специфики своего климата и экономики.

Таким образом, проблема энергоэффективности зданий в Узбекистане требует комплексного подхода, который включает в себя использование инновационных технологий, оптимизацию строительных процессов и учет мирового опыта. Этот процесс предполагает не только технические решения, но и изменение восприятия энергоэффективности на уровне потребителей и органов государственной власти.

## 2. Методология исследования

Для анализа текущего состояния и разработки рекомендаций использовались следующие методы:

- Анализ статистических данных: изучение отчетов и статистики по энергопотреблению в строительстве.
- Сравнительный анализ: рассмотрение опыта других стран в сфере энергоэффективности зданий.
- Оценка текущих инициатив: анализ существующих проектов и программ по повышению энергоэффективности в Узбекистане.

В процессе анализа энергоэффективности зданий в Узбекистане и за рубежом было выделено несколько ключевых факторов, которые определяют эффективность применения различных технологий и материалов в строительстве. Рассмотрим результаты, полученные в ходе анализа международного опыта и практики, а также результаты применения энергоэффективных решений в Узбекистане.

Анализ зарубежного опыта. Исследования и проекты по энергоэффективности зданий, реализованные в различных странах, предоставляют богатый материал для анализа и заимствования. На сегодняшний день ведущими странами по внедрению энергоэффективных технологий являются Германия, Швеция, Норвегия, а также ряд стран Европейского союза.

Германия является пионером в области пассивного строительства и энергоэффективности. Программа "Пассивный дом", разработанная в Германии, представляет собой архитектурный стандарт, при котором здания практически не потребляют внешнее отопление. Вместо традиционного отопления используется рекуперация тепла, а энергопотребление минимизируется за счет применения высокоэффективных теплоизоляционных материалов и герметичности конструкций. Германия активно продвигает такие стандарты, как Passivhaus, предлагая более эффективное использование энергии в домах, что позволяет значительно сократить эксплуатационные расходы и выбросы углекислого газа. Согласно исследованиям, здания, построенные по немецким стандартам пассивного дома, потребляют на 75-90% меньше энергии, чем традиционные дома.

Швеция является одним из лидеров по использованию возобновляемых источников энергии в строительстве. В Швеции активно применяются технологии солнечных панелей, тепловых насосов, а также геотермальные системы отопления. Здесь также очень высоко значение энергоэффективности, особенно в жилищном строительстве. Шведские специалисты утверждают, что энергоэффективность зданий может быть значительно улучшена за счет комплексного подхода, включающего теплоизоляцию, использование возобновляемых источников энергии и разумное проектирование, с учетом климатических особенностей. В Швеции разработана система сертификации зданий по энергоэффективности, которая оценивает здания по таким параметрам, как теплотехнические характеристики, использование возобновляемых источников энергии, а также уровень потребления энергии.

Норвегия, обладая холодным климатом, также поставила себе задачу повысить энергоэффективность зданий. Здесь активно применяются материалы с низким коэффициентом теплопроводности, а также системы пассивного солнечного обогрева и другие высокоэффективные решения. В Норвегии большое внимание уделяется улучшению изоляции крыш и стен, а также использованию современных оконных систем с высоким коэффициентом теплотехники.

Применение энергоэффективных решений в Узбекистане. В Узбекистане также ведется работа по повышению энергоэффективности в строительстве. Страна активно стремится внедрять международный опыт в области энергоэффективности, с учетом специфики своего климата и экономических условий. В последние годы значительное внимание уделяется созданию нормативных документов, направленных на повышение энергоэффективности зданий. В 2020 году в Узбекистане была разработана Национальная программа по энергоэффективности, которая нацелена на снижение потребления энергии в зданиях, а также на улучшение состояния энергетической инфраструктуры.

**Теплоизоляция.** Одним из ключевых направлений улучшения энергоэффективности в Узбекистане является внедрение теплоизоляционных материалов, которые снижают теплопотери в зимний период и уменьшают необходимость в кондиционировании воздуха летом. В Узбекистане активно применяются новые материалы, такие как пенополиуретан, экструдированный пенополистирол, а также стекловата и базальтовая изоляция. Эти материалы позволяют существенно снизить теплопотери и повысить комфорт в помещениях, что особенно важно в условиях резко континентального климата Узбекистана.

**Возобновляемые источники энергии.** В последние годы в Узбекистане также активно развиваются технологии возобновляемых источников энергии, такие как солнечные панели и тепловые насосы. Учитывая солнечную активность в стране, использование солнечных батарей становится одним из самых эффективных способов производства энергии для нужд зданий. В сельских районах Узбекистана устанавливаются солнечные панели для обеспечения автономных источников энергии для бытовых нужд, что способствует снижению зависимости от централизованного электроснабжения и снижению нагрузки на энергетическую систему страны.

Проектирование и строительство

энергоэффективных зданий. Важным шагом в повышении энергоэффективности является внедрение в проектирование зданий стандартов, ориентированных на снижение потребления энергии. В Узбекистане создаются новые жилые комплексы, соответствующие международным стандартам энергоэффективности, при этом особое внимание уделяется вентиляции, солнечным коллекторам и климат-контролю. Такие здания проектируются с учетом местных климатических условий, что позволяет оптимизировать потребление энергии на отопление и охлаждение.

Для получения более точной картины о эффективности применения энергоэффективных решений в Узбекистане были проведены несколько исследований, направленных на оценку применения различных технологий и материалов.

Оценка эффективности теплоизоляции. В рамках этого эксперимента были протестированы различные виды теплоизоляционных материалов, включая стекловату, пенополиуретан и экструдированный пенополистирол. Результаты показали, что экструдированный пенополистирол обладает наилучшими теплоизоляционными характеристиками, снижая теплопотери на 25% по сравнению с традиционными материалами. Это может существенно снизить потребление энергии на отопление в зимний период и охлаждение в летний.

Применение солнечных панелей. В рамках данного эксперимента были проанализированы солнечные панели, установленные в одном из жилых комплексов города Нукуса для обеспечения горячим водоснабжением и поддержания микроклимата в помещении. Согласно результатам, солнечные панели покрыли до 40% потребности в энергии для горячего водоснабжения и отопления в зимний период, что позволило значительно снизить затраты на электроэнергию.

Несмотря на успехи в области энергоэффективности, в Узбекистане остаются несколько проблем, которые затрудняют полное внедрение энергоэффективных технологий. Одной из главных проблем является высокая стоимость инновационных материалов и технологий, что ограничивает их доступность для широких слоев населения. Также существует нехватка квалифицированных специалистов в области энергоэффективного строительства, что затрудняет внедрение новых решений в массовое строительство.

Еще одной проблемой является недостаток информации среди населения о преимуществах энергоэффективных решений и технологий. В Узбекистане необходимо проводить активную информационную работу, чтобы жители понимали важность энергоэффективности и могли применять соответствующие технологии в своих домах.

### 3. Заключение

Рассмотренные результаты исследования и анализа зарубежного опыта в области энергоэффективности зданий подтверждают значительный потенциал для внедрения различных технологий и материалов в строительстве Узбекистана. Несмотря на достижения в этом направлении, еще существует ряд вызовов, которые требуют внимания для дальнейшего

совершенствования энергетической эффективности зданий.

Прежде всего, необходимо отметить, что внедрение энергоэффективных технологий в Узбекистане должно учитывать уникальные климатические и экономические условия страны. Например, в отличие от стран с умеренным климатом, таких как Германия или Швеция, Узбекистан сталкивается с резко континентальным климатом, что требует особого подхода к проектированию и выбору материалов. Однако международный опыт показывает, что применение современных теплоизоляционных материалов, таких как пенополистирол или стекловата, значительно улучшает энергоэффективность зданий в условиях любого климата. На базе такого опыта в Узбекистане также должны быть адаптированы новые строительные нормы и стандарты, ориентированные на максимальную теплоизоляцию и минимизацию теплопотерь.

Еще одной важной темой является развитие возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели. Узбекистан, располагая большим количеством солнечных дней в году, имеет все возможности для применения солнечных панелей, как для выработки электроэнергии, так и для обеспечения горячего водоснабжения. Внедрение таких технологий уже показало свою эффективность в пилотных проектах, как в сельской местности, так и в городах. Однако для массового внедрения солнечных батарей необходимо решить проблему их стоимости и создания соответствующей инфраструктуры, что в свою очередь требует значительных инвестиций.

Кроме того, важной задачей является повышение осведомленности среди населения о значении энергоэффективности и преимуществах внедрения таких технологий. Это потребует не только информационной работы, но и разработки более доступных финансовых схем, чтобы сделать энергоэффективное строительство доступным для широкой аудитории.

Наконец, необходимо отметить, что текущие нормативные документы в Узбекистане в области энергоэффективности должны быть пересмотрены с учетом международных стандартов и лучших практик. Например, страны Европы уже имеют долгосрочные программы по сертификации зданий по критериям энергоэффективности, что способствует стимуляции строительных компаний внедрять новые технологии и использовать более устойчивые материалы.

Таким образом, несмотря на существующие проблемы, потенциал для улучшения энергоэффективности зданий в Узбекистане огромен, и дальнейшая работа в этом направлении обеспечит снижение энергозатрат, улучшение качества жизни и сокращение воздействия на окружающую среду.

Энергоэффективность зданий и сооружений является одним из ключевых аспектов устойчивого развития строительной отрасли, как на глобальном, так и на локальном уровнях. В последние десятилетия в различных странах мира активно разрабатываются и внедряются новые стандарты и технологии для повышения энергоэффективности жилых и коммерческих зданий. Важно отметить, что успешное применение этих технологий способствует не только экономии энергии, но и улучшению качества жизни, защите окружающей среды и снижению воздействия на климатические изменения.



Исследование и анализ зарубежного опыта, а также результаты работы, проведённой в Узбекистане, подтверждают необходимость перехода к энергоэффективным технологиям в строительстве. Узбекистан, имеющий характерный для многих регионов мира климат с резкими континентальными колебаниями температуры, представляет собой уникальный случай, требующий индивидуального подхода к проектированию и выбору материалов для строительства. В условиях таких климатических факторов особое значение имеет правильный выбор теплоизоляционных материалов, конструктивных решений и использование современных технологий, таких как солнечные панели и системы рекуперации энергии.

Ключевыми факторами успешного внедрения энергоэффективных технологий в строительную практику Узбекистана являются: высокая осведомлённость населения о значении энергоэффективности, грамотная политическая поддержка, доступные финансовые инструменты для инвесторов, а также соответствующие изменения в законодательных и нормативных актах. Государственные инициативы, такие как субсидии на внедрение солнечных панелей или льготные кредиты для строительства энергоэффективных зданий, могут стать важным инструментом в стимулировании роста сектора.

Кроме того, необходимость учета климатических особенностей страны при проектировании и строительстве энергоэффективных зданий имеет решающее значение. Опыт стран с умеренным климатом, таких как Германия, Швеция и Великобритания, показывает, что стандартные решения не всегда применимы в условиях Узбекистана. Поэтому важным направлением для страны является разработка новых, адаптированных под местные условия технологий и материалов, а также создание специализированных нормативных документов, которые будут стимулировать использование энергоэффективных решений в строительстве.

Одной из проблем, с которой сталкиваются страны, в том числе Узбекистан, является высокая стоимость строительства энергоэффективных зданий. Несмотря на долговременную экономию, затраты на проектирование, строительство и оснащение такими технологиями часто превышают обычные расходы на строительство традиционных зданий. Это требует создания более доступных финансовых механизмов, таких как программы поддержки и субсидирования, а также налоговых льгот для инвесторов и строительных компаний.

В контексте глобальных экологических изменений и стремления к устойчивому развитию важным шагом для Узбекистана станет также развитие возобновляемых источников энергии. Страна располагает значительным потенциалом для использования солнечной энергии, что даёт возможность сократить зависимость от традиционных энергоносителей и снизить нагрузку на энергетическую систему. Применение солнечных панелей, солнечных коллекторов и других технологий позволит не только повысить энергоэффективность зданий, но и существенно снизить затраты на электроэнергию в долгосрочной перспективе.

Не менее важным аспектом является повышение устойчивости строительных объектов к климатическим

изменениям. Устойчивость к экстремальным погодным условиям, таким как резкие перепады температур, пыльные бури и засухи, становится важной характеристикой современных зданий. Использование эффективных теплоизоляционных материалов и герметичных конструктивных решений может существенно повысить долговечность зданий и снизить потребность в частых ремонтах и дополнительном энергоснабжении.

В завершение, можно сказать, что переход к энергоэффективному строительству в Узбекистане требует комплексного подхода, включающего улучшение законодательной базы, развитие новых технологий и материалов, а также поддержку со стороны государства и частного сектора. Однако положительный опыт других стран, а также растущий интерес к теме энергоэффективности в строительстве, дают основания полагать, что в будущем этот сектор будет развиваться быстрыми темпами, что принесет значительные экономические, экологические и социальные выгоды.

## Использованная литература / References

- [1] Касимова С.Т., Талипова Н.З., Омонова Д.Ф. Применение энергосберегающих продуктов в жилых и общественных зданиях Узбекистана // *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*. – 2022. – Т. 10. – №12. – С. 280–285. [Электронный ресурс]. <https://internationaljournals.co.in/index.php/giirj/article/view/1333>
- [2] Миразимова Г.О. Проектирование энергоэффективных зданий в Узбекистане // *Horizon: Journal of Humanity and Artificial Intelligence*. – 2023. – Т. 2. – №5. – С. 45–49. [Электронный ресурс]. <https://journal.univerpublishing.org/index.php/horizon/article/view/1410>
- [3] Миралимов М.М., Адизов Б.Б., Мамадалиев З.Р. Разработка способов повышения энергоэффективности жилых зданий с железобетонными стенами // *Journal of Pedagogical Inventions and Practices*. – 2022. – №7. – С. 92–97. <https://zienjournals.com/index.php/jpip/article/view/1569>
- [4] Косимова Ш. Анализ возможностей и проблем повышения энергоэффективности зданий в условиях климата Узбекистана // *The Scientific-Practice Journal of Architecture, Construction and Design*. – 2023. – №1. – С. 15–20. [Электронный ресурс]. <https://scienceweb.uz/publication/11502>
- [5] Азизова Б. Энергоэффективное жилое здание в Узбекистане с использованием местных возобновляемых сырьевых материалов на основе исторической планировки жилья // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2023. – Vol. 2512. – 012070. DOI:10.1088/1742-6596/2512/1/012070. [Электронный ресурс]. <https://www.researchgate.net/publication/376155667>
- [6] Алижанов Д.Д., Собирова М.О. Повышение энергоэффективности зданий и сооружений // *Лучшие интеллектуальные исследования*. – 2022. – №11. – С. 74–78. [Электронный ресурс]. <https://web-journal.ru/journal/article/view/2908>



**Информация об авторах/  
Information about the authors****Уразханова  
Эльвира  
Муратовна**

Каракалпакский государственный  
университет. Ассистент кафедры  
«Градостроительства и хозяйства»,  
e-mail: [elvira.razxanova@gmail.com](mailto:elvira.razxanova@gmail.com)  
Tel.: +998 979686167  
<https://orcid.org/0009-0007-8846-1686>



## Smart city: problems and solutions

Y.I. Turdibekov<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering, Samarkand, Uzbekistan

**Abstract:** This article analyzes the concept of a smart city, the importance of the concept of "smart city" for humans, society and nature, and its role in modern urbanization. It also covers the main problems encountered in creating smart cities, including urban planning, infrastructure, technological integration, information security and environmental sustainability. The author offers solutions to these problems based on modern advanced urban planning methods, innovative technologies, digital management systems and ecological approaches. The article also discusses the future of smart cities, their impact on society and development prospects.

**Keywords:** smart city, urbanization, urban planning, digital technologies, innovation, infrastructure, information security, environmental sustainability, smart transportation, digital governance, IoT (Internet of Things), energy efficiency, environmental protection, smart systems, green technologies

### 1. Introduction

The 21st century is a time of technological progress and digital revolution, which directly affects the field of urban planning. The increase in population, the acceleration of urbanization, and the need for efficient use of resources have created the need for more effective management of cities. In such conditions, the field of urban planning and urban development. The concept of "smart city" has been promoted as a new and modern concept and has become a relevant issue for Uzbekistan, along with developing countries. The Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan No. PQ-4881 dated October 30, 2020 "On measures to implement the Digital Uzbekistan – 2030" strategy, and the Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. 48 dated January 18, 2019 "On approval of the Concept for the introduction of "Smart City" technologies in the Republic of Uzbekistan" are the basis for the development and implementation of the "Smart City" concept in Uzbekistan [1], [2]. The "Smart City" concept aims to improve the quality of life by managing urban infrastructure based on modern information and communication technologies. Smart cities are primarily aimed at optimizing urban infrastructure and ensuring efficient use of resources using information technologies, IoT (Internet of Things), big data, and artificial intelligence. However, technical, financial, and social challenges along the way. It is difficult to achieve effective results without it. This article analyzes the main problems in the development of smart cities and proposes possible solutions to them.

### 2. Research methodology

In preparing this article, an attempt was made to work on the basis of a scientific-analytical approach. First of all, existing international experiences, scientific articles, reports and practical projects on the concept of "Smart City" were studied. The following methods were used in the process of data analysis:

- Analytical method - the main components of smart cities (transport, energy, security, ecology,

management systems) were studied separately, their interdependence and functional role were identified;

- Comparative method - the experience of smart cities in developed countries was compared with the current situation in Uzbek cities, and significant differences and similarities were identified;
- A systematic approach – by viewing the smart city concept as a complex, interconnected system, each problem and its solution were assessed in a comprehensive manner;
- Document analysis – official resolutions of the Government of the Republic of Uzbekistan, strategic programs, and regulatory documents on urban planning were analyzed;
- Expert opinion analysis - an in-depth analysis of the problems and proposed solutions was conducted based on interviews and open data from industry specialists and experts.

This methodological approach made it possible to systematically consider the problems raised in the article and justify their practical solutions.

#### "SMART " CITY " CONCEPT INTO PRACTICE IN THE OVERSEAS PROBLEMS

Although the implementation of the "smart city" concept is an important tool in solving the problems of modern urbanization, there are a number of obstacles and problems in this process. They are manifested at the urban planning, technological, economic, social and institutional levels.

##### *Problems in urbanism*

The successful implementation of the "smart city" concept requires modern and advanced urban planning approaches. However, urban planning problems existing in current practice slow down or complicate this process. The main aspects of these problems are presented below.

**1. Outdated infrastructure.** Many cities have outdated buildings, electricity, natural gas, water and sewage systems, making it difficult to integrate them with smart technologies. In such conditions, it is necessary to upgrade the existing infrastructure before introducing new digital solutions, which takes time and considerable cost.

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0006-8859-430X>



**2. Weak planning and lack of coherence.** In many cases, urban development plans are developed separately by different organizations, which leads to the lack of a unified strategic approach. As a result, smart city systems do not work together due to a lack of coordination between different sectors.

**3. Unplanned and uncontrolled development of land areas.** Unplanned and uncontrolled construction, the expansion of informal settlements, the mixing of residential and industrial areas make it difficult to effectively organize smart urban architecture. In such conditions, the implementation of technical and technological solutions becomes uneven and ineffective.

**4. Limited public transport and road infrastructure.** Smart cities rely on efficient public transport systems. However, in many cities, underdeveloped transport infrastructure, narrow and unsuitable road networks, traffic congestion and environmental problems make it difficult to fully implement smart transport systems.

**5. Lack of data in urban planning.** Real-time data collection and analysis are essential for managing smart cities. Unfortunately, in many cases, data on urban infrastructure is not digitized, decentralized, or available at all. This slows down the decision-making process and can lead to misdirection.

**6. Financial constraints.** Smart cities and the implementation of technical and technological solutions require significant investments, and sustainable financial resources are needed to modernize infrastructure, develop and maintain digital platforms. However, budget constraints and low investment flows are preventing the full implementation of many projects and initiatives.

**7. Staffing and skills shortages.** Highly skilled designers, engineers, IT specialists, and data analysts are needed to manage and effectively use digital systems. At present, the lack of sufficient specialists in these fields is preventing the full use of existing systems.

**8. Legal and institutional challenges.** The lack of clear legal frameworks, standards, and regulations for smart cities complicates the process. In addition, weak cooperation and information exchange systems between different government agencies disrupt the coherence of projects. Issues of digital security and personal data protection are also not fully resolved.

**9. Social and cultural barriers.** Low digital literacy, distrust of technology, and cautious attitude towards innovation make it difficult for smart city projects to be accepted by the general public. In addition, the lack of access to digital technologies for some groups creates the problem of a "digital divide" [3] – [8].

#### ***Lack of technological infrastructure and resources***

At the heart of the "Smart City" concept is a modern technological infrastructure. This infrastructure creates the possibility of digital control, monitoring and automated management in all areas of city activity (transport, energy, healthcare, security, utilities, etc.). However, in many developing countries, in particular in Uzbekistan, the resources and infrastructure in this area are not yet sufficiently developed. This situation is reflected in the following problems:

**1. Lack of sensors and IoT devices.** The environmental sensors, IoT (Internet of Things) devices, and data collection systems needed for "smart cities" are not available or are available in limited quantities in many urban areas. This

makes it difficult to analyze data in real time and respond quickly to problems.

**2. Weak network and internet infrastructure.** The lack of stable and high-speed internet, 5G or Wi-Fi hotspots slows down the functioning of digital solutions. This problem is especially acute in remote areas, exacerbating digital inequality.

**3. Insufficient data centers and cloud technologies.** Data centers (data centers) that store and process large amounts of data, which are a key component of "smart city" systems, are either non-existent or have low capacity in many regions. Also, the level of use of cloud technologies is not yet developed.

**4. Power outages and maintenance.** Unstable or intermittent power supplies, as well as lack of systematic maintenance, also negatively affect the continuous operation of technological solutions.

**5. Lack of local technological producers.** Many modern technological tools are imported from foreign countries, which increases costs and reduces the level of technological independence. The absence or underdevelopment of local production cannot cover the domestic demand for resources [3] – [8].

To address these challenges, it is necessary to gradually develop technological infrastructure, establish public-private partnerships, support local technology startups, and develop a digital transformation strategy.

#### ***Social and economic inequalities***

While smart cities often aim to improve urban life by integrating advanced technologies, this process can exacerbate social and economic inequalities. In most cases, smart city technologies are only accessible to financially self-sufficient citizens, making it difficult to provide technology to low-income groups. In addition, smart cities are often developed only in certain regions, which can create even greater disparities among local populations. Middle- and low-income groups are excluded from using these technologies, and as a result, they are unable to improve their lives.

The concept of smart cities aims to improve the quality of life of the population, expand access to services, and optimize urban governance. However, existing socio-economic inequalities are emerging as a significant obstacle to this process. In order for the introduction of smart technologies to be equally beneficial for all segments of society, existing differences must be taken into account. The main aspects of these inequalities are presented below.

**1. Digital divide.** Not all segments of society have equal access to digital technologies. Low-income families, the elderly, and those living in remote areas lack access to the internet, mobile devices, and digital services. This creates limitations for them in accessing smart city services.

**2. Low levels of education and digital literacy.** Some segments of the population, especially groups with low technological literacy or low digital literacy (e.g. rural residents, the elderly), cannot use modern applications, digital payment systems, and online services. This situation hinders the effective functioning of technologies.

**3. Unequal access to economic resources.** Services offered within smart cities (smart payment systems, automatic control of natural gas, electricity and water, smart homes, etc.) sometimes require additional costs. As a result of the inability of low-income groups to use such services, a situation of "underdevelopment even in the city" arises.



**4. The gap between the city center and the suburbs.** Many smart city projects are initially implemented in the central areas, while the suburbs are neglected. This further exacerbates the differences in infrastructure, quality of services, and living conditions between regions.

**5. Lack of flexibility for people with disabilities and vulnerable groups.** Smart city solutions should create equal opportunities for all citizens. However, the needs of people with disabilities, lonely elderly people, or socially vulnerable groups are often not taken into account. This contradicts the principle of inclusiveness [3] – [8].

To overcome these problems, it is important to develop a digital inclusion policy, establish digital literacy programs, and form a support system for socially vulnerable groups through subsidies or preferential services.

#### *Personal information security and confidentiality*

Smart cities involve the extensive use of information technology, which requires the collection of large amounts of data. This data usually relates to population movements, energy consumption, security monitoring, and other daily activities. This naturally raises issues of personal data security and privacy.

Data breaches, unauthorized access, and misuse of data can increase security challenges in cities. Legal and information security issues related to personal data, in particular, necessitate the need to protect citizens' privacy.

"Smart" "city" concept population daily life to the activity related big in size data collection, storage and analysis to do in mind This, in turn, makes the issue of ensuring the security and confidentiality of personal data one of the most pressing problems. Deficiencies in this area not only lead to a violation of citizens' rights, but also to a decrease in general trust.

**1. Weakness of digital security systems.** In many regions, modern technological solutions for information security are insufficient. Devices (cameras, sensors, mobile applications, etc.) connected to smart city infrastructure may be vulnerable to cyberattacks or data leaks.

**2. Uncertainty of the legal framework.** In many countries, including Uzbekistan, the legislative framework for the protection of personal data is not yet fully developed or is poorly implemented in practice. The lack of clear standards, accountability systems, and control mechanisms for organizations handling confidential data poses a threat in this area.

**3. Possibility of unauthorized use of data.** The data collected in smart city systems (location, travel routes, purchases, health status, etc.) can be perceived as an invasion of citizens' privacy if misused. This reduces citizens' trust in technology.

**4. Lack of transparency in data transfer.** In many cases, the population is unaware of what data is being collected about them, where it is stored, and for what purpose it is being used. This leads to violations of privacy principles.

**5. Shortage of cybersecurity professionals.** The lack of highly qualified IT professionals and information security engineers needed to ensure the security of personal data creates significant gaps in the protection of existing infrastructure [3] – [8].

To address this problem, it is necessary to improve legislation on the protection of personal data at the state level, set strict ethical and technical standards for

organizations handling data, and strengthen cybersecurity infrastructure.

#### *Ecological and environmental problems*

Smart cities are known for their goal of saving energy, reducing waste, and ensuring environmental sustainability. However, the environmental impacts of resource use must be studied in the process of implementing urban planning standards and technologies. The materials, technologies, and methods used in the construction of new smart cities often create a high demand for natural resources. Also, in some cases, harmful substances can be released into the environment during the production and implementation of smart technologies. The coordination of technology and natural resources remains a major challenge in ensuring the environmental sustainability of cities.

The concept of a "smart city" plays an important role in solving ecological and environmental problems.

**1. The relevance of environmental problems.** Today, urbanization processes, increased transport, industrial emissions and increased energy consumption have a negative impact on the ecological environment. Air pollution, waste problems, depletion of water resources, and reduction of green areas are among the main environmental problems.

**2. Smart city and ecological approach.** "Smart city" technologies serve to optimize urban infrastructure and reduce environmental problems. The following areas are important in ensuring ecological sustainability:

##### **a) Smart energy systems**

- Use of renewable energy sources such as solar and wind.
- Reducing electricity consumption by improving energy efficiency.

##### **b) Air quality monitoring**

- Real-time air quality monitoring using IoT (Internet of Things) sensors.
- Forecasting systems for monitoring and preventing air pollution.

##### **c) Smart waste management**

- Automatic waste separation and recycling systems.
- Improving the efficiency of waste collection logistics through digital control.

##### **d) Green infrastructure**

- Expanding green spaces, parks, and ecological transportation routes.
- Natural ventilation and air purification through vertical gardens, green roofs and walls.

##### **e) Water resources management**

- Monitoring and optimizing water consumption by the population.
- Implementation of water treatment plants and rainwater harvesting systems.

##### **3. Environmental awareness and digital citizenship**

- A smart city depends not only on technology, but also on the ecological culture of the population. It is important to inform citizens about environmental problems through digital applications and encourage them to actively participate in solving them [3] – [8].

#### **3.5 LEGAL AND ADMINISTRATIVE BARRIERS**





The construction and development of smart cities largely depends on governments and city management systems. In many countries, laws and regulatory frameworks aimed at creating smart cities have not yet been formed. However, existing legislation and standards often do not correspond to modern technologies.

This situation can create obstacles in urban planning processes and slow down the implementation of smart cities. In addition, the adaptation of management systems to new technologies can create uncertainties and difficulties in their implementation.

**1. Inadequate legislation.** In many countries, including Uzbekistan, clear and adapted laws on the implementation of "smart city" technologies have not yet been fully developed. This leads to the following problems:

- Delay in legal response to technological innovations – for example, the legal status of drones, smart cameras, or IoT devices is not clearly defined.
- Gaps in personal data protection – data about citizens collected through smart systems can be misused.

**2. Lack of coordination of management systems.** For smart cities to function effectively, close cooperation between state and local governments is necessary. However, the following obstacles are often encountered:

- Lack of cross-sectoral coordination – for example, sectors such as transport, energy, and environment operate independently of each other.
- Low digital literacy – some managers and employees lack the skills to work with modern technologies.

### 3. Financing and investment problems

- Legislative uncertainties pose risks for investors, making them hesitant to invest in "smart city" projects.
- Underdeveloped public-private partnership (PPP) mechanisms make it difficult to implement large infrastructure projects.

### 4. Standardization and technical regulations

- Due to the lack of uniform standards, different systems are not compatible with each other, which complicates integration.
- For example, cameras or sensors installed by different companies may not work with each other.

### 5. Citizen participation and rights

- Citizens are often left out of decision-making processes.
- This can cause social discontent and reduce the sustainability of projects [3] – [8].

## 3.6 ADAPTABILITY AND PREPAREDNESS FOR FUTURE CHANGES

While urban planning approaches for smart cities are often robust and clearly planned, they need to be flexible to future technological changes. Rapidly changing technological and social conditions require smart cities to be constantly updated and adapted.

Decisions made in projects and construction processes must be flexible enough to respond to future needs, otherwise the promising development of smart cities will be impossible.

### 1. What is flexibility?

- Resilience is the ability of a city's infrastructure, management, and technological systems to

respond quickly to various social, economic, and environmental changes.

- A smart city is not just a collection of modern technologies, but also a continuous development and an adaptive approach to changing conditions.

## 2. Key areas of readiness for future changes:

### a) Technological flexibility

- Modular systems : Smart city systems should be modular, meaning they should be able to easily add new technologies or replace old ones.
- Unified platforms : Digital systems in different sectors (transport, energy, security) must be integrated.

### b) Informed decisions

- IoT, AI (artificial intelligence), and Big Data are used to collect and analyze real-time information, which helps to make quick and informed decisions in any situation.

### c) Climate change preparedness

- Environmental solutions (e.g., green buildings, rainwater harvesting systems) will be developed to address changes in air temperature, rainfall, and water scarcity.
- Strategies to conserve energy, expand green transportation, and reduce waste are used as countermeasures.

### d) Social adaptability

- Appropriate services and infrastructure for different social groups (elderly, disabled, young people).
- Developing the city taking into account the opinions of citizens (through interactive platforms, public surveys).

### e) Stability against external shocks

- Adaptive strategies will be developed to respond to situations such as pandemics, natural disasters, and economic crises (e.g., remote work systems, ambulance drones).

## 3. Strategic planning and innovation promotion

- Smart cities develop flexible strategies based on 10-20-year plans.

New solutions are constantly being implemented in collaboration with startups, research centers, and technology parks [3] – [8].

## 3. Discussion

The concept of "smart city" is a strategic direction for the development of modern cities. Within this concept, various sectors - transport, energy, healthcare, environment, security and management systems - work in an integrated manner. Importantly, such cities, while being based on technology, will be aimed at making people's lives easier, saving resources and ensuring environmental sustainability.

One of the main challenges in implementing this concept is the incompatibility of existing infrastructure with innovations, especially in developing countries. Outdated communications, problems with uninterrupted power supply, and insufficient Internet infrastructure hinder the full implementation of "smart" technologies. Another important aspect is the lagging behind of legislation. While smart technologies are developing rapidly, the legal issues related to them have not yet been fully regulated. This poses risks in



areas such as data security, privacy, and intellectual property.

In addition, environmental and social aspects also play an important role. If cities are not environmentally sustainable, technological progress can negatively affect the health of the population. Waste management, air and water quality control, preservation of green areas - all these should be key priorities in the smart cities strategy. Social equality and the level of digital literacy of citizens should also not be ignored. Every citizen should have access to modern technologies and participate in decision-making.

At the same time, solutions exist and are being implemented gradually. Through the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), big data (Big Data) and digital management systems, it is possible to increase efficiency in all areas of city life. Through single digital platforms, public services are provided quickly, transparently and conveniently. Technological solutions are being implemented on the basis of public-private partnerships, and citizens can actively participate in city governance through mobile applications and an online portal.

It is clear from the discussion that the concept of a "smart city" requires a comprehensive approach, systemic reforms, and modern thinking. Technologies are a tool, and the main goal is to create a comfortable, safe, and environmentally friendly living environment that fully realizes human potential [9], [10].

## 4. Conclusion

In the 21st century, cities are becoming not only economic, but also social, ecological and cultural centers. The growing number of urban residents, pressure on infrastructure and resources, environmental problems and security needs make the introduction of the "smart city" concept a necessity of the time. This concept aims to make life easier, optimize management and ensure environmental sustainability by introducing digital technologies in various areas.

While the development of smart cities holds promise for the future, they face several significant challenges in addressing urban design challenges. A comprehensive approach and collaboration are needed to address issues in technology, social inequalities, privacy, ecology, and governance. If these challenges are addressed, smart cities can significantly improve people's lives and enhance the quality of life in cities.

In today's rapidly changing world, the concept of "Smart City" is becoming an important factor in ensuring not only technological progress, but also sustainable development, a comfortable living environment and effective governance. The problems arising in the implementation of this concept - gaps in legislation, lack of coordination in governance, environmental risks, outdated infrastructure and difficulties in financing - require a comprehensive, integrated approach.

At the same time, each of these challenges can be effectively addressed through modern technologies, digital governance, environmental solutions, civic engagement, and adaptive strategies. The key is not to build a city, but to manage it in a sustainable and future-proof manner.

In addition, being prepared for future changes is also an integral aspect of a "smart city." Urban systems must be flexible and resilient to climate change, natural disasters, economic crises, and health-related risks. This requires

strategic planning, identifying digital threats, and testing and implementing innovative technologies in real life.

In conclusion, a "smart city" is not just a set of modern technologies, but a complex system that relies on human potential, innovation, sustainable development, environmental awareness and civic participation. By properly shaping this system, not only technological, but also social and environmental progress can be achieved. Properly planning the cities of the future today is one of the most important steps towards creating a sustainable and prosperous environment for future generations.

## References

- [1] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining qarori (2020 yil 30-oktabr) PQ-4881-son. "Raqamli O'zbekiston - 2030" strategiyasini amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida.
- [2] O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining qarori (2019 yil 18-yanvar) 48-son. O'zbekiston Respublikasida "Aqlli shahar" texnologiyalarini joriy etish Konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida.
- [3] Nam, T. & Pardo, T. A. (2011). Smart city as urban innovation: Focusing on management, policy, and context. Proceedings of the 5th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance. DOI: 10.1145/2072069.2072100
- [4] Hollands, RG (2008). Will the real smart city please stand up? City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action, 12(3), 303-320. DOI: 10.1080/13604810802479126
- [5] United Nations (2021). Smart cities and infrastructure - UN Habitat. URL: <https://unhabitat.org>
- [6] IBM Institute for Business Value (2020). How smart is your city? Building smart and sustainable urban centers. URL: <https://www.ibm.com>
- [7] Batty, M. et al. (2012). Smart cities of the future. The European Physical Journal Special Topics, 214, 481-518. DOI: 10.1140/epjst/e2012-01703-3
- [8] World Bank (2020). Smart Cities Development in Emerging Economies. URL: <https://www.worldbank.org>
- [9] Turdibekov, YI, & Kholiqulov, ZA (2025). PROBLEMS IN ASSESSING INNOVATIONS IN THE CONSTRUCTION FIELD. Modern Science and Research, 4 (3), 207-209.
- [10] Turdibekov, K., & Ibragimovich, YT RATES OF TOURISM COMPETITIVENESS UNDER THE CATEGORICAL APPARATUS OF TOURISM INDUSTRY THROUGH STRATEGIC FUNDAMENTALS OF FORMATION, ANALYSIS OF UZBEKISTAN. Journal of Management Values & Ethics.

## Information about the author

**Turdibekov Yusuf**  
**Ibragimovich** Department of "Real Estate Management", Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering  
e-mail: [turdibekov.yusuf@samdaqu.edu.uz](mailto:turdibekov.yusuf@samdaqu.edu.uz)



# Transport route efficiency optimization: a new perspective integrating sustainable development and economic benefits

Ning Yuling<sup>1</sup><sup>a</sup>, Grintsevich Liubou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

**Abstract:** Traditional assessments of transportation route efficiency often prioritize direct economic factors, neglecting crucial environmental and social sustainability dimensions. This research integrates the core concepts of sustainable transportation - spanning environmental, social, and economic pillars - and proposes novel qualitative frameworks to evaluate economic efficiency more holistically. The aim is to provide a more comprehensive basis for optimizing transportation routes, fostering decisions that better balance operational effectiveness with long-term sustainability goals.

**Keywords:** Sustainable Transportation, Economic Efficiency, Qualitative Assessment

## 1. Introduction

Transportation systems are the veins of contemporary economies and societies, enabling the carriage of goods, enabling personal travel, and bringing people to the services they need. The stability of these corridors has a significant impact on economic productivity, supply chain efficiency, and overall welfare. Current paradigms for transportation, typically designed with first priority on velocity and the eschewal of direct operational costs, increasingly find themselves confronted with inherent limitations. These come in the shape of chronic bottlenecks to productivity like congestion, along with major negative spillovers in the shape of greenhouse gas emissions, neighbourhood air and noise pollution, and high consumption of exhaustible energy resources. The standard model ignores the broader, long-term environmental and community welfare consequences.

This is a challenging task for planners, logisticians, and policy makers alike: It is important maximize transportation route efficiency beyond conventional metrics, as gains accrue to environmental protection, social equity, and sustainable economic resilience.

The growth of the world's population, increasing life expectancy, increasing consumption and production volumes, investment in the development of infrastructure that ensures the movement of goods from producers to consumers leads to the expansion of the transport and logistics services market. The size of the freight and logistics transportation market in 2024 was estimated at US\$ 6.03 trillion and is expected to reach US\$ 7.54 trillion by 2029, with a CAGR of 4.57% during the forecast period 2024-2029. Optimizing for time or fuel price alone is no longer sufficient in the presence of high-stakes global sustainability imperatives and mounting societal pressures.

There must be a paradigm change, toward a more integrated and holistic frame of reference for what constitutes an "efficient" transportation corridor within a sustainable development paradigm.

Therefore, the primary aim of this research is to bridge this gap by exploring the complex concept of sustainable transport. It will first explore the essential components and distinctive dimensions – environmental, social, and economic – that make up sustainable mobility. Based on this theory, the research will subsequently outline and discuss

new conceptual frameworks and qualitative indicators specially created to measure the economic efficiency of transportation routes from an overall, sustainability-based perspective. By outlining this theoretical model, the research aims to provide helpful analytical tools and support for enhancing transportation routes so that in fact makes amends between short-term operational effectiveness and longer-term environmental accountability and social benefit.

## 2. Research methodology

Sustainable transport is, by definition, marked by its capacity to meet the mobility needs of the present generation without compromising future generations' ability to meet their own needs. The concept goes beyond traditional efficiency measures to a fundamental balance and integrated development on three interdependent axes: the environment, social, and economics [1, 2]. Achieving truly sustainable transport modes calls for systems thinking that accommodates the essential complexity and interdependencies involved.

This operationalization typically involves building and analyzing indicators which capture performance by these pillars of sustainability so comparative judgments and policy recommendations can be formulated [4].

The above research agenda addresses refining these ideas and charting realistic paths toward sustainable mobility transition [5].

### Environmental sustainability

The primary goal of environmental sustainability of transport is decreasing the negative influence of mobility activity on the nature environment [6, 7]. This means addressing some of the most sensitive factors:

**Greenhouse Gas (GHG) Emissions:** Reducing the carbon footprint of transport is critical. Solutions include promoting the use of clean energy vehicles (electric, hydrogen), route optimization to minimize travel distances, improving logistics to optimize load factors, and freight transfer to lower-emission modes [3,7].

**Air Pollutant Emissions:** Transport is one of the key sources of on-road air pollutants like nitrogen oxides (NOx) and particulate matter (PM2.5), which deteriorate human health and ecosystems. Their mitigation includes equipping vehicles with state-of-the-art emission control technologies

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0002-9150-808X>



and routing or using traffic management systems that divert from heavily congested areas [7, 8].

**Noise Pollution:** Traffic noise negatively impacts quality of life, particularly in cities. To sustainably direct traffic is to stay away from noise-sensitive areas (residential areas, schools, hospitals) wherever possible or else to apply noise reduction technologies, such as the use of quieter vehicle technology and surfacing [8].

**Energy Consumption:** Reducing the reliance on fossil fuels and increasing overall energy efficiency are critical. This can be achieved by technology improvements in vehicle efficiency, promoting energy-saving driving practices, and inducing modal changes to less energy-intensive modes like public transport and rail freight, including the development of efficient multimodal systems [7].

**Land Use Efficiency:** Much of the land space is occupied by transportation infrastructure. Green strategies involve minimizing the plan and design of roads, railways, and terminals to minimize habitat fragmentation and overall footprint on precious ecosystems and agricultural lands [8].

#### Social Sustainability

Social sustainability seeks to make transport systems equitable, safe, accessible, and promote healthy results for all the members of society [8]. The key components involve:

**Equity:** Transport systems must provide equal access to mobility options for everyone regardless of income, place, age, or physical capacity. Route planning and service design must prioritize extensive coverage of services and affordability to prevent social exclusion [9, 10].

**Safety:** Minimizing the potential for accidents and maximizing traveler safety is a critical consideration. Planning routes must consider factors such as road design quality, history of accidents on the road, traffic flow, and adequate lighting, particularly for vulnerable road users [8].

**Accessibility:** Transportation should facilitate simple access to such essential locations as employment centers, schools, health centers, and social facilities. Quality routes effectively connect origins and destinations, reducing travel effort and time [9].

**Health Impacts:** In addition to safety, transport choices affect public health by exposing individuals to air and noise pollution. Sustainable transport planning aims to reduce these exposures and actively encourages active modes of travel like walking and cycling, often integrated with public transport journeys, which have physical health co-benefits [9, 10].

**Community Impacts:** Transport infrastructure and routes can physically isolate communities or cause local disturbance. Socially sustainable planning seeks to minimize such negative impacts, so routes integrate well with existing community structure and enhance, rather than degrade, local quality of life [9].

#### Economic Sustainability

Economic sustainability ensures that transport systems are economically sustainable, efficient, and beneficial to long-term economic growth [7, 8]. This dimension includes:

**Operational Efficiency:** This involves optimizing the utilization of transport assets. Key initiatives involve reducing journey times, reducing deadheading (empty running), improving turnaround time for vehicles, and asset utilization optimization [7].

**Cost-Effectiveness:** Achieving an optimal balance between the cost (inputs) and the output benefits of transport services is crucial. This involves managing direct operating costs like fuel, labor, and maintenance, along with

considering indirect costs like congestion, delay, and environmental externalities [8].

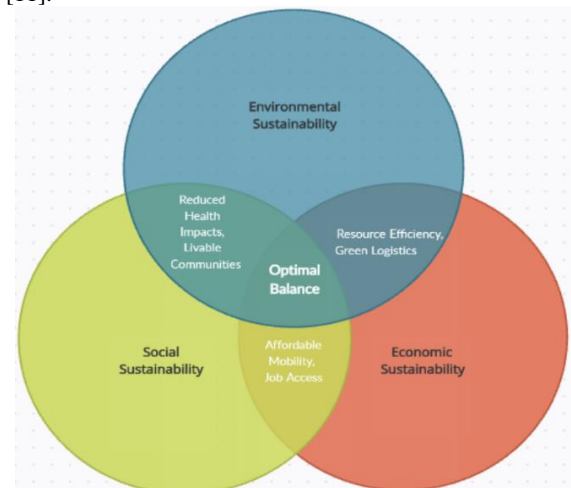
**Infrastructure Investment Return:** Investments in transportation infrastructure (roads, bridges, ports, railroads) have to yield dividends in the form of long-term economic and social returns to counterbalance the cost of initial investment and maintenance [8].

**Facilitating Economic Activity:** Efficient transportation systems are essential to economic prosperity, enabling goods to move from production hubs to markets and employees to travel to jobs [7].

**System Resilience:** Economic sustainability also concerns whether the transport system is capable of surviving and recovering from disturbances, e.g., extreme weather conditions, accidents, infrastructure failures, or unexpected changes in demand, so that service continuity is assured [10].

#### Interrelation of the three pillars

Notably, these three pillars – environmental, social, and economic – are not separate fields but are thoroughly interrelated and interdependent [7, 8]. Actions to increase performance in one of the metrics have a synergistic or counteractive effect in the other metrics. A case in point is investing in fuel-efficient vehicles or optimizing routes in order to save miles, which increases economic cost-effectiveness immediately by reducing environmental emissions. Similarly, improving access to public transport (a social goal) can lead to reduced reliance on private vehicles, delivering environmental benefits (reduced pollution, less congestion) and potentially economic ones (reduced infrastructure burden, lower household travel expenditure). However, achieving true sustainability often involves breaking through intrinsic dilemmas and trade-offs, where cost reduction in one aspect may compromise another, necessitating sensitive balancing and combined policy action [11].



**Figure 1. The three interlocking pillars of sustainable transportation**

Therefore, determining transportation route efficiency from a genuinely sustainable perspective necessitates a complete analysis that consciously addresses and compares performance in all three dimensions.

### 3. Results and discussion

Whilst traditional economic efficiency assessments, generally founded on measures such as cost per tonne-



kilometer or transit time, provide valuable operational data, they all too frequently omit the complete view required of a sustainable transport system [7]. These conventional methodologies tend to center on readily quantifiable direct costs but struggle with internalizing high environmental externalities, e.g., GHG emissions, noise and air pollution, or biodiversity impacts, which are central determinants of environmental sustainability [6, 8]. Similarly, social considerations of equity, access, safety, and public welfare, although instrumental for social acceptability and ultimate success [9, 10], are often omitted or insufficiently treated in purely monetary calculations. This limited focus can lead to economically optimal short-term route decisions that result in high levels of hidden costs or in the neglect of longer-term viability factors such as system resilience [7].

To overcome these limitations involves a shift towards more integrated methods of evaluation that embrace the tenets of sustainable development [1, 2]. It is then necessary to bring in qualitative or semi-quantitative evaluation frameworks to bring in the considerations that are difficult to price but are crucial to all-around decision-making [4, 5]. Such frameworks allow systematic consideration of environmental and social performance alongside traditional economic metrics, towards a more balanced and strategically sound basis for comparing and evaluating transport route options, especially in the process of negotiating the inherent complexities and trade-offs between rival sustainability objectives [11].

This section proposes four conceptual frameworks that are designed to enable such a qualitative assessment of economic efficiency within a sustainability context. These are not for precise numerical computation but as systematic instruments for comparative analysis and strategic appraisal.

Conceptual frameworks for qualitative assessment

Integrated Value Efficiency Index (IVEI):

To quantify a route's total "value efficiency" by considering its positive contributions in relation to its total costs and risks, looking beyond direct operating costs.

Conceptual Formula:

$$\text{IVEI} = (\text{Economic Output Promotion} + \text{Social Benefit Contribution}) / (\text{Direct Operational Cost} + \text{Environmental Impact Factor} + \text{Social Risk Factor})$$

Component Explanation:

Economic Output Promotion: Qualitatively measures the effectiveness of the route in stimulating trade, connecting production and consumption centers, and facilitating economic activity [7].

Social Benefit Contribution: Measures the contribution of the route towards enhancing accessibility, offering service equity between populations, and connecting communities [9, 10].

Direct Operational Cost: The traditional measurable costs (fuel, labor, maintenance) [7, 8].

Environmental Impact Factor: Qualitative or scored indicator based on the estimated GHG emissions of the route, intensities of pollution at location, energy demand profile, and ecological sensitivity effect [6, 7, 8]. (e.g., High/Medium/Low impact score).

Social Risk Factor: Records potential negative social impact, including risk to safety (accident frequency, security risk) and other negative community effect (noise, fragmentation) due to the route [8, 9]. (e.g., High/Medium/Low risk score).

Meaning: A higher IVEI suggests that a route is offering

higher overall value compared to its inclusive costs and risks in the sustainable transport system.

Route Resilience and Adaptability Coefficient (RRAC)

To measure specifically the economic effect of how well a route can still operate and recover from disruption, a significant problem with long-term economic sustainability [7, 10].

Conceptual Formula

$$\text{RRAC} = (\text{Alternative Availability} \times \text{Disruption Recovery Speed}) / (\text{Vulnerability Exposure})$$

Component explanation:

Alternative Availability: Qualitatively assesses the availability and practicability of alternative routes or modes in case of disruption of the primary route [10]. (e.g., Multiple/Few/No good alternatives).

Disruption Recovery Speed: Estimate (based on historical data or from the evaluation of an expert) of how quickly normal operation can be regained after typical interruptions (e.g., accidents, congestion, weather) [10]. (e.g., Fast/Moderate/Slow recovery).

Vulnerability Exposure: Refers to the frequency with which the route is exposed to noted threats like usual congestion points, accident hot spots, adverse weather patterns, or infra-structure bottlenecks [8]. (e.g., High/Medium/Low exposure).

Interpretation: The greater the RRAC, the lower the chance of extended operational breakdown, thereby its input into extended economic activity in a more secure manner.

Route Synergy Utilisation Rate (RSUR)

To quantify the level of coordination and performance while utilizing various resources (vehicles, infrastructure, energy, information) along the route beyond just load factors.

Conceptual Formula:

$$\text{RSUR} = (\text{Vehicle Cycle Efficiency} \times \text{Energy Matching Degree} \times \text{Information Sharing Level}) / (\text{Empty Haulage and Waiting Time Factor})$$

Component explanation:

Vehicle Cycle Efficiency: Numerically estimates the speed and smoothness at which the vehicles complete their transport task and are available for the next one [7]. (e.g., High/Medium/Low efficiency).

Energy Matching Degree: Estimates how well the used source of energy (e.g., diesel, electric, LNG) fits the route conditions, distance, and cargo type for greatest efficiency and least impact upon the environment [6, 7]. (e.g., Excellent/Good/Fair/Poor match).

Information Sharing Level: Measures the quality and extent of sharing of information between the various stakeholders (carriers, shippers, infrastructure managers) on route planning, real-time conditions, and cargo tracking [1]. (e.g., High/Medium/Low level).

Empty Haulage and Waiting Time Factor: A qualitative measure of the proportion of unproductive distance and time, including empty backhauls and node waiting times (warehouses, ports) [7]. (e.g., High/Medium/Low occurrence, best being Low).

Interpretation: The higher the RSUR, the more intelligent resource utilization, the less wastage, and the stronger underlying economic performance.

Sustainable Service Value-Added Ratio (SSVAR)

To evaluate the non-market environmental and social



value added by a transport service route over and above its total cost.

Conceptual Formula:

$$SSVAR = \frac{\text{Customer Satisfaction Enhancement} + \text{Environmental Benefit Score} + \text{Social Equity Contribution Score}}{\text{Total Cost of Ownership}}$$

Component explanation:

**Customer Satisfaction Improvement:** Qualitatively evaluates the value added by superior service quality attributes like reliability, punctuality, safety, and delivery of information, above pure transport function [5]. (e.g., On the basis of surveys or expert view).

**Environmental Benefit Measure:** A measure of the environmentally positive performance of the route compared with others or benchmarks for emission reduction, energy saving, or biodiversity protection achieved [6, 8]. (e.g., Based on standardized criteria).

**Social Equity Contribution Score:** Assesses the route's contribution to social goals, e.g., reaching disadvantaged areas, providing accessible alternatives for disadvantaged groups, or improving safety outcomes [9, 10]. (e.g., Rated against pre-defined criteria).

**Total Cost of Ownership (TCO):** Considers not only direct operating expenses but also longer-term costs such as maintenance, potential environmental cleanup, decommissioning, and risk mitigation costs [8]. (Can be quantitative or qualitative category).

**Interpretation:** A higher SSVAR indicates that the corridor offers greater environmental and social benefit (sustainability-related value) per unit of total cost, indicating a more economically valuable whole-choice.

Application Considerations

The practical application of these conceptual frameworks (IVEI, RRAC, RSUR, SSVAR) has to be approached with care. In the first instance, since they are highly reliant on qualitative factors, there need to be clear, consistent, and transparent scoring or rating criteria (e.g., what precisely does 'High', 'Medium', or 'Low' mean for every factor) to provide the ability to compare and reduce subjectivity [4]. This will typically consist of context-dependent definitions particular to the particular transport operation or area of investigation.

Secondly, the qualitative nature of many components emphasizes the necessity to apply expert judgment and engage with concerned stakeholders (e.g., logistics managers, environmentalists, community members, customers) when evaluating [1, 11]. Their array of perspectives can provide crucial input to assess aspects like social impact, resilience capacity, or service value and lead to more robust and credible judgments.

Thirdly, these frameworks are best used as comparative tools, rather than as absolute measures of efficiency. Their utility lies in facilitating systematic comparison of different alternatives, analysis of potential improvements to existing alternatives, or tracking shifts in performance over time in relation to sustainability objectives [5]. They help to elicit the relative strengths and weaknesses of alternatives in different dimensions, thereby facilitating more informed and balanced decision-making [11].

While introduced conceptually, application of these frameworks can be significantly enhanced by leveraging available data sources and analytical techniques where possible. Geographic Information Systems (GIS), traffic simulation models, environmental impact assessment data,

and operational performance records can provide valuable inputs to inform the qualitative judgments in each framework element. Integrating these frameworks into more broad multi-criteria decision analysis (MCDA) approaches might further structure the evaluation process, especially when confronted with complex trade-offs among competing sustainability objectives.

The form should be completed and signed by one author on behalf of all the other authors.

## 4. Conclusion

The necessity to enhance the efficiency of transport corridors while simultaneously addressing pressing environmental and societal challenges demands a shift in paradigm away from conventional economic analysis. This paper has emphasized the limited perspective of conventional approaches that fail to take into account the vital environmental externalities and social equity considerations inherent in transport operations. In returning to first principles of sustainable transport, it reaffirmed the need to embrace environmental stewardship, social well-being, and economic sustainability as interrelated pillars to underpin transport system development and evaluation. The exploration of environmental aspects like emissions and resource use, social aspects like equity and accessibility, and reframed economic aspects like resilience and holistic cost-effectiveness forms the basis for more unified understandings.

Based on this, the article introduced novel qualitative models – Integrated Value Efficiency Index (IVEI), Route Resilience and Adaptability Coefficient (RRAC), Resource Synergy Utilization Rate (RSUR), and Sustainable Service Value-Added Ratio (SSVAR). These conceptual tools are proposed not as substitutes for quantitative data, but as necessary complements to the inclusion of hard-to-monetize sustainability factors in economic efficiency assessment. They provide a structured approach to evaluate routes based on their broader value contribution, risk profile, resource visibility, and alignment to sustainable service goals.

Transport route planning in the 21st century needs this holistic vision. The application of qualitative and integrated appraisal techniques, such as those described, gives decision-makers a more robust and ethically grounded basis for option comparison and investment guidance. Embracing this wider vision of efficiency is necessary to encourage transport systems that are not only operationally efficient but also environmentally sustainable, socially equitable, and economically viable in the long run, and hence contribute positively to overall societal growth and resilience.

## References

- [1] Greg Marsden and Louise Reardon, "Questions of governance: Rethinking the study of transportation policy", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 101, 2017, Pages 238-251, ISSN 0965-8564, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.008>.
- [2] Karl-Henrik Robèrt, Sven Borén, Henrik Ny, and Göran Broman. "A Strategic Approach to Sustainable Transport System Development"- Part 1: Attempting a Generic Community Planning Process Model. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 140. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.054>.

[3] Abramchuk, A.I. "Sustainable Development of Transport the Path to Science"? Economic Sciences, 2024 No. 51 (121), pp. 106-109

[4] Andrea Alonso, Andrés Monzón and Rocío Cascajo, "Comparative analysis of passenger transport sustainability in European cities", Ecological Indicators, Volume 48, 2015, Pages 578-592, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.022>.

[5] Curtis, C. "Sustainable mobility: A research agenda", Transport reviews, 2018, 38(1), 1-3.

[6] Gössling, S. "Sustainable transport policy: The contribution of tourism". Journal of Sustainable Tourism, 2018, 26(8), 1249-1265.

[7] Singh, Z., Singh, J. and Singh, D. "Sustainable transportation systems: A review". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 91, 805-813.

[8] Lopez-Arboleda, E., Sarmiento, I. and Poveda, C. A. "Environmental, social, and economic dimensions of sustainability in project management: A systematic literature review". Sustainability, 2019, 11(22), 6488.

[9] Kamruzzaman, M., De Vos, J. and Witlox, F. "The implications of the built environment for social sustainability: A review and research agenda". Cities, 2020107, 102958.

[10] Nielsen, T. A. S., Olafsson, A. S., Carstensen, T. A. and Skov-Petersen, H. "Sustainable mobility at the local scale? Policy, practice, and potential in Danish municipalities". Journal of Transport Geography, 2021, 93, 103074.

[11] Tennoy, A., Kværner, J. and Gjerustad, C. "Dilemmas in the quest for sustainable land use and transport—How objectives, knowledge and policy processes interact". Progress in Planning, 2019, 132, 1-34.

## Information about the author

**Ning  
Yuling**

Department of Management,  
Belarusian National Technical  
University, Republic of Belarus  
E-mail: [929847736@qq.com](mailto:929847736@qq.com)

**Grintsevich  
Liubou**

Department of Economics and  
Management of Innovative Projects in  
Industry, Belarusian National  
Technical University, Republic of  
Belarus  
E-mail: [grintsevich@bntu.by](mailto:grintsevich@bntu.by)



## Innovative approaches to teaching the “geotechnics” course for future civil engineers

K.I. Makhsimov<sup>1</sup><sup>a</sup>, A.A. Marupov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fergana State Technical University, Fergana, Uzbekistan

### Abstract:

The rapid evolution of digital technologies is revolutionizing the educational landscape, particularly in technical disciplines such as geotechnics. This study explores how digital tools, virtual and augmented reality, project-based learning, interactive teaching, gamification, and case studies enhance the quality of education in construction engineering. These approaches not only bridge the gap between theory and practice but also foster a deeper engagement, interdisciplinary collaboration, and practical skill development among students.

Furthermore, this research highlights the pivotal role of modern pedagogical techniques in addressing contemporary challenges in engineering education. By integrating real-world applications and industry-driven methodologies, students acquire the analytical, problem-solving, and technical competencies necessary for a highly competitive professional environment. The findings of this study demonstrate that innovative teaching strategies significantly contribute to the preparation of well-rounded construction engineers, capable of meeting industry demands with confidence and expertise.

### Keywords:

geotechnics, ground and foundations, digital technology, virtual and completed realism, project-based teaching, gamification, interactive teaching, case-examples, interdisciplinary education

## 1. Introduction

The science of "geotechnics" is considered one of the main disciplines in the process of training qualified builders and is associated with ensuring the strength and stability of structures, and with the correct design and construction of foundations. However, when teaching this subject, there are often a number of problems, including the difficulty in understanding theoretical material, the need for modern methods and technical means of teaching due to the lack of practical skills in students. This science requires in-depth knowledge of engineering disciplines such as the mechanics of grunts, strength theory and methods for calculating foundations. In this, students may have difficulty understanding complex concepts of mathematics and physics. Also, situations such as a lack of practical skills, limited access to specific projects, such as ham cause some problems[4].

Also, the existence of a discrepancy between theoretical knowledge and their application to practice plays an important role in the teaching of " Geotechnical " Science. Students often have difficulty applying abstract concepts and mathematical models to practice. This situation affects the development and implementation of effective engineering solutions by students. Accordingly, one of the improvement of teaching is the question of real projects of foundations and the integration of Applied Research. In this case, it is possible to eliminate the discrepancy between theory and practice by introducing real projects and applied research into the curriculum. Working on engineering problems related to the mudflating of foundations or collaborating with mudflats and construction enterprises to master practical examples will help students to deeper understand the subject and its application in practice.

The ground grunts, which are expected to spend a lot of time and funds, can be studied using virtual laboratories and simulation programs for laboratory work and field research

on the physical and mechanical properties. These tools help students to form practical persuasions when learning variable grunt properties and foundation sludge.

Integrated processes with engineering disciplines such as geology, hydrology and geodesy are important in mastering the science of " geotechnics ". Such an approach allows students to understand in more detail the complex features of the grunt and the factors that affect the operation of the foundation.

In recent years, the emergence of complex modeling programs and digital modeling tools in the educational process has created a wide range of opportunities to teach students the effects of the changing physical and mechanical properties, tension and subsidence of grunts on the blurring of foundations by marginal states. In particular, tools such as PLAXIS, GeoStudio, LIRA and ABAQUS allow students to visualize and analyze the interconnections of the grunts that make up the building and its floor in a managed virtual environment [2,3,5]. Practical experiments carried out using software at the Professional level prepare students to solve real engineering problems and help them to more quickly master the concepts that are abstract. In this regard, it is good to discuss our calculation results with the help of LIRA software, taking into account the variable strength and volatility (such as  $E$ ,  $s$ ,  $\phi$ ,  $m_0$ ,  $m_v$ ) Hoss Of Grunts in the structure-floor system of multi-story Residential buildings with the participation of students divided into groups in advance.

The degree of student satisfaction after the introduction of new teaching methods (survey):

- The percentage of students who began using BIM, VR/AR or simulations in their educational projects;
- Comparing academic performance between students who studied using traditional methods and those who used digital technologies;

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0002-9150-808X>



- Employment of graduates (for example, the growing demand for engineers with skills in working with digital tools);

- The level of students' independence, determined by the number of completed individual projects or work performed outside of classroom activities.

## 2. Research methodology

Currently, innovative approaches such as the use of digital technologies, virtual and completed realism, project-based teaching are being implemented in order to improve the effectiveness of the educational process and improve the quality of education for construction students. Including:

1. To realistically simulate projects of foundations of buildings and structures, it can be effective to introduce vokhelik-filled (VR and AR) technologies that reflect a virtual and a real state of the art into the educational process. With them, students will be able to see how the foundations are built, observe changes in structures in Real time. For example, our electronic developments such as "study of grunt properties", "design and installation of foundations", "deeply located foundations", "central and non-central compressed foundations" are of great interest to students. In this regard, developments related to the application of pile foundations in the construction of agricultural buildings and structures in the nearby and saline soils of groundwater, which are common in our mamalakat, will help students and Masters to conduct independent studies [6,7,8,9].

2. Building information modeling-Building Information Modeling(BIM) technology allows you to create digital models of buildings that reflect all aspects of the layout, including geotechnics. Accordingly, students can study the actual structure of buildings in a three-dimensional environment, simulate loads and analyze the movements of grunts under load.

3. Project-oriented education allows students to participate in real projects at all stages of their development - from the analysis of grunt characteristics to the design of the foundation. This is applicable to students in developing teamwork skills, project management, and learning to solve engineering problems in Real-world environments.

Opportunities are created for students to carry out research projects such as familiarizing themselves with new foundation materials in the context of various moisture or changing properties of the grunt, analyzing the grunt in difficult natural conditions, or studying methods of strengthening the foundation in the repair of buildings. Such research develops analytical thinking skills in educators and provides the opportunity to develop new approaches in the field of engineering.

4. Mobile applications and online platforms for Independent Education allows students to study materials and solve problems on time. Such training involves using mobile technologies alone or in conjunction with other information and communication technologies (ICT) to learn at any time and anywhere. Education can develop in a variety of forms: students can use mobile devices to access educational resources, interact with others, or create content inside and outside the audience. Mobile education may also include efforts to support broad educational goals, such as effective management of higher education systems, improving the communication between OTM and student's parents [1].

5. Gamification (incorporating game elements into the educational process) makes learning more effective and fun. On the example of virtual tasks for the special science "geotechnics", simulations and games have been developed that help to study construction processes. For example, students may be asked to create a stable foundation for a virtual building, taking into account certain conditions – the type of grunt, load, available materials and costs. It helps to understand the real relationship between theory and practice and to understand the consequences of various engineering decisions.

6. With the help of data collected in the process of building foundations and keys-examples, evidence-based education makes the educational process relevant and practical for students. Working with real-world projects provides students with the opportunity to make sustainable and reliable decisions by correctly assessing possible risks. This develops the ability to think analytically in students. As a result, they study in depth the factors that need to be taken into account when laying and building foundations.

## 3. Results and discussion

The development of digital technologies has a significant impact on the educational process, especially in technical universities. The introduction of digital technologies, virtual and augmented reality, as well as interactive teaching methods can improve the quality of the educational process, reduce the gap between theory and practice, and increase the competitiveness of graduates. This article examines the application of these methods in teaching the discipline "Geotechnics" to students of the Faculty of Civil Engineering of the Fergana Polytechnic Institute (Fergana State Technical University), especially up to the 3rd year of study.

**Table 1**

**The first results show that the introduction of digital and interactive technologies in the teaching of geotechnics**

Indicator	Before the implementation of the methodology	After the implementation of the methodology
The average level of student engagement (%)	60	85
The success rate of practical tasks (%)	55	80
The level of mastery of the material (by testing)	65	90
Percentage of students involved in project work (%)	50	75

For students under the 3rd year of the Faculty of Civil Engineering of Ferghana Polytechnic Institute, the proposed methodology allows them to quickly adapt to professional tasks, develop digital and engineering skills, and effectively

combine theory and practice. In the future, it is planned to expand the use of artificial intelligence and cloud technologies in geotechnical education.

Above, the possibilities of applying innovative methods



in the teaching of "Geotechnical" Science in the field of construction were shown. Accordingly, the use of digital technologies prepares students to work in a realistic environment where BIM and other technologies are becoming standard. Simulations and project-oriented assignments provide the opportunity to apply knowledge in practice, generating the right decision-making skills in the educational process. Interactive teaching methods help to increase interest and motivation and to study science more deeply by students. In some cases, directed pedagogical methods (YPBS) are used, in which students use the experience of solving a problem related to a previously proposed topic in training. In "ground and Foundation" science, ypb scenarios can include real engineering calculations such as designing foundations for a particular type of grunt or solving the problem of slope stagnation. This approach serves to solve problems in practical training in critical thinking, teamwork and theoretical knowledge.

## 4. Conclusion

Modern problems in the field of construction require the training of engineers who not only understand the theory, but also have the skills to apply knowledge in life. Innovative approaches to teaching "Geotechnical" Science i, such as VR, BIM, and the use of project-based education, improve the quality of education and prepare students for the practical challenges they face in real work.

The quality of education can be further improved by the use of digital technologies in teaching "geotechnics", encouraging practical participation of students and the development of interdisciplinary education. Overcoming the gap between theory and practice, the formation of practical experience skills, the improvement of training programs based on the traditions and needs of the development of the construction industry are important in the training of competitive Civil Engineers. By constantly improving teaching methods and introducing innovations, students can be armed with the knowledge, skills and critical thinking techniques necessary to solve the problems of the mechanics of grunts and the design of foundations.

## References

- [1] Шевякин В.Н., Руковыцина А.А. Новые подходы и инновационные технологии преподавания технологических дисциплин. В НТЖ "Образование и проблемы развития общества" Курск, Россия, ЮЗГУ, №3(12), 2020 г.
- [2] Усманов Б.Ш., Жўраева Г.Х. Инновационные методы обучения в преподавании технических дисциплин. В журн. Техника, Технология, Инженерия. №2(4), 2017г.

[3] Алипатов Г.В., Черкасов Г.В. Специализированные программные технологии как средство повышения качества образования. Материалы 4-Международной НПК, Воронеж, 2019г., с.11-19

[4] Maxsimov Q.I., Ne'matov X. Gruntlar mexanikasi fanini o'qitish metodologiyalarini zamonaviy uslublari yana takomillashtirish to'g'risida. Xalqaro ilmiy texnikaviy anjuman materiallari t'plami, 4-tom. Farfona, 26-27 aprel 2023y. 450-453 b.

[5] Maxsimov Q., Xolmirzaev Q., Ibroximov M. Texnika fanlarini o'qitish metodologiyalarini zamonaviy uslublari to'g'risida. "Fan va innovatsiya-2023: Rivojlantirish va ustivor y'nalishlar" xalqaro NPK materiallari, Namangan, 22-23 oktyabr. 2023 y.

[6] Yunusaliyev E. M., Maxsimov K. Q., Sarsenbayev N. B., Auyesbek S. Features of calculation reinforcement concrete piles of agricultural buildings in aggressive ground conditions. Международная конференция «Промышленная технология и инженеринг- ICITE-2023», Чимкент, 2023 18 ноябр, Материалы конференции с .399-303

[7] Maxsimov Q. Design of bases and foundation on salinized soils. Germania Web of Science SJIF (23) Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development. <https://sjird.Journalspark.org/index.php/sjird/article/download>

[8] Maxsimov Q. Durability of reinforced concrete piles in aggressive soil conditions. Germania Web of Science SJIF (23) Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development <https://sjird.journalspark.org/index.php/sjird/article/download/849/815>

[9] Marupov, A., Turdikulov, K., Khakimova, K., & Abdulkadirova, M. (2024, November). Methods for researching the influence of electromagnetic waves of power transmission lines on soil properties. In E3S Web of Conferences (Vol. 508, p. 07002). EDP Sciences.

[10] Maxsimov Q. Design of foundations in extremely solid soils. Web of Science Texas Texas journal of Agriculture and Biological Sciences ISSN NO; 2771-8840 <https://zienjournals.com>.

## Information about the author

**Makhsimov Kosimkhon Ibayevich** Department of Management, Belarusian National Technical University, Republic of Belarus  
E-mail: [929847736@qq.com](mailto:929847736@qq.com)

**Marupov Azizkhon Abbosxonovich** Fergana State Technical University, Fergana, Uzbekistan  
e-mail: [maxsimov55@bk.ru](mailto:maxsimov55@bk.ru), [marupov.azizxon@gmail.com](mailto:marupov.azizxon@gmail.com)

## Innovative development of the engineering education system

G.R. Khalfin<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The article discusses the development of the system of professional engineering education. Modern educational technologies are analyzed. Recommendations on the effective implementation of innovations in engineering universities are given.

**Keywords:** innovation, engineering education, quality of education, university competitiveness.

## Инновационное развитие системы инженерного образования

Хальфин Г.Р.<sup>1</sup><sup>a</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В статье рассматриваются вопросы развития системы профессионального инженерного образования. Анализируются современные технологии образования. Приведены рекомендации по эффективному внедрению инноваций в инженерных вузах.

**Ключевые слова:** инновации, инженерное образование, качество образования, конкурентоспособность вуза

### 1. Введение

Инженерное образование представляет собой ключевой ресурс для развития страны, и его значение растет с ускоряющейся скоростью. Быстрое устаревание знаний ставит перед системой инженерного образования задачу фокусирования подготовки на аспектах саморазвития и освоении технологий непрерывного обучения. Формирование единого глобального рынка труда обуславливает необходимость унификации учебных программ инженерных специалистов [1].

Образование испытывает давление со стороны профессиональных объединений, которые требуют более быстрого выхода выпускников на рынок труда и повышения их готовности к работе в профессиональной среде. Ускорение научно-технического прогресса требует от образовательных организаций подготовки специалистов с использованием современных технологий и плотного взаимодействия с государственными органами власти, научно-исследовательскими институтами и передовыми предприятиями. Повышение качества инженерного образования, в свою очередь, способствует увеличению конкурентоспособности общества и образовательных учреждений [2].

В сфере массового высшего образования наблюдается активная диверсификация форм, уровней и содержания учебного процесса. Укрепляется тенденция интернационализации образования и другие аналогичные движения. Актуальные тренды и новейшие требования ставят перед вузами задачи, которые могут быть решены только через взаимодействие и интеграцию. В этой связи целесообразно сосредоточить дорожную карту развития и повышения конкурентоспособности инженерных вузов на следующих направлениях:

- создание ресурсов для совместных образовательных программ;
- развитие систем электронного обучения и мониторинга в вузах;
- реализация внешних имиджевых проектов;
- сотрудничество с внешними держателями курсов и открытых медиа коллекций.

**Литературный анализ.** На сегодняшний день дистанционное обучение приобретает особую значимость, обеспечивая доступ к высококачественному образованию для людей, неспособных воспользоваться очными формами обучения. Характерные черты дистанционного обучения, такие как гибкость, модульность, параллельность, охват, рентабельность и интернациональность, основываются на современных педагогических методах и информационно-телекоммуникационных технологиях. Использование компьютеров и телекоммуникационных средств, внедрение гибкого расписания и модульной структуры курсов приводит к образованию новой образовательной модели с неопределенными границами форм обучения.

Главными технологиями дистанционного обучения считаются интернет-технологии, кейсовая технология и телекоммуникационные технологии, которые следует рассматривать как взаимосвязанную систему.

Специалисты ЮНЕСКО акцентируют внимание на том, что дистанционное обучение призвано обеспечить равный доступ к информации и образованию для каждого человека, позволяя изучать программы любого колледжа или университета в любой точке мира. В докладе Луиса Роселло, руководителя сектора дистанционного образования ЮНЕСКО, обозначены основные задачи на первые десятилетия XXI века, среди которых значится переход от ограниченной концепции физического перемещения студентов к концепции мобильности идей, знаний и обучения, с целью

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7217-8161>



распределения знаний путем обмена образовательными ресурсами между странами [1].

Следуя трендам, традиционные формы дистанционного обучения преобразуются в массовое открытое образование, что отражается в расширении спектра образовательных интернет-проектов в Университете Майнор для студентов и внешних пользователей. Система опирается на постоянно обновляющуюся базу учебно-методических материалов, включая учебные планы, программы, методические разработки и коллекцию аттестационных и обучающих заданий.

Другим способом повышения эффективности образовательной системы является внедрение инновационных решений. Этот процесс в сфере образования представляет собой сложное явление, предполагающее постепенное обновление содержания, методов и форм обучения и воспитания, что, безусловно, влияет на качество педагогической работы. Классификация нововведений представлена в трудах таких ученых, как К. Ангеловские, Н.В. Горбунова, А.В. Лоренсов, М.М. Поташника, Н.Р. Юсуфбекова и других. Исследователи, занимающиеся педагогической инноватикой, стремятся увязать новое в педагогике с характеристиками, такими как полезность, прогрессивность и современность [3, 6, 7].

Инновации в рамках педагогического процесса подразумевают внедрение новых элементов в содержание, методы и формы обучения, а также организацию совместной деятельности преподавателя и студентов. Понятие инноваций в обучении охватывает новые педагогические методики, способы организации учебных занятий и инновации в образовательном процессе, включая методы оценки учебных результатов. К примеру, это могут быть профильные классы, школы-парки, игровые методики и тьюторство [4, 5].

Инновации в управлении образовательными учреждениями охватывают внедрение новых подходов и схем управления, такие как маркетинговые исследования, образование специализированных групп внутри учреждений, создание управляющих советов с реальными функциями и развитие сетевого взаимодействия. В контексте подготовки и переподготовки педагогических кадров нововведения подразумевают новые подходы, а также программы, ориентированные на изменение требований к качеству образования, включая дистанционное обучение и создание междисциплинарных курсов.

## 2. Методология исследования

Наиболее эффективно новшества реализуются в малых коллективах (500–1000 человек), где легче обеспечить подготовку педагогического персонала к изменениям и быстрее вдохнуть в них энтузиазм. Важно планировать возможные риски при реализации инновационных процессов, учитывая, что как утверждает рядом исследователей, каждая вторая организационная новация может завершиться неудачей.

Эффективное внедрение инноваций в вузах требует подготовки будущих преподавателей к инновационной деятельности путем:

1) интеграции общепедагогических и специальных дисциплин в учебные программы;

2) помощи студентам в формировании навыков использования инноваций;

3) создания специальных курсов по инноватике и процессам в образовании;

4) включения научно-исследовательской работы;

5) вовлечения студентов в проекты, связанные с инновациями.

## 3. Заключение

Образование, представляющее собой область накопления знаний и умений, обязано создавать условия, способствующие выявлению и развитию творческих способностей, обеспечивая формирование навыков самообразования и, как следствие, самореализации индивидуума. Данная система подготовки будущих педагогов к инновационным практикам нацелена на формирование у студентов интереса к внедрению новшеств в их профессиональной деятельности и осуществляется через последовательное освоение знаний о нормативном использовании инноваций в учебной деятельности.

## Использованная литература / References

[1] Проблемы образования будущих финансовых лидеров [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://education-events.ru/2014/03/31/conference-about-finance-leaders-education>.

[2] Савенкова, Т. И. Инновационное развитие системы профессионального образования / Т. И. Савенкова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 21.2 (80.2). — С. 4-6. — URL: <https://moluch.ru/archive/80/14498/> (дата обращения: 15.02.2025).

[3] Воронов М. В. Профессиональное обучение студентов на основе интегрированных курсов // Инновации в образовании. — 2011. — № 9. — С. 4–15.

[4] Дичковская И. М. Инновационные педагогические технологии: учебник. 2-е изд., Перераб. Киев, Академвидав. — 2012. — 352 с.

[5] Зеер Э. Ф. Компетентный подход как фактор реализации инновационного образования // Образование и наука. Известия Уральского отделения РАО. — 2011. — № 8. — С. 3–15.

[6] Кузьмина Ю. Компетентный подход в образовательном процессе высшей школы // Высшее образование сегодня. — 2010. — № 11. — С. 22–24.

[7] Назарова Л. И. Актуальные вопросы развития инновационной образовательной среды вуза // Образование и наука. Известия Уральского отделения РАО. — 2011. — № 7. — С. 47–55.

## Информация об авторах / Information about the authors

Хальфин Г.Р. Ташкентский государственный транспортный университет  
<https://orcid.org/0000-0002-7217-8161>





## About improving the system of personnel training for construction industry

E.V. Shchipacheva<sup>1</sup><sup>a</sup>, R.H. Pirmatov<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** The ways of improvement of personnel training for construction industry of the Republic of Uzbekistan in modern conditions are considered. The existing problem of the branch, connected with acute shortage of highly qualified engineering personnel is outlined. The problem of admission to the profession is posed.

**Keywords:** professional skill, system of personnel training, system admission to the profession, theoretical knowledge, practical skill

## О совершенствовании системы подготовки кадров для строительной отрасли

Щипачева Е.В.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Пирматов Р.Х.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Рассмотрены пути совершенствования подготовки кадров для строительной отрасли Республики Узбекистан в современных условиях. Обозначена существующая проблема отрасли, связанная с острой нехваткой высококвалифицированных инженерных кадров. Поставлена проблема допуска к профессии.

**Ключевые слова:** профессиональное мастерство, система подготовки кадров, система допуска к профессии, теоретические знания, практический навык

### 1. Введение

Строительная отрасль Республики Узбекистан стремительно развивается. Этому способствуют Постановления Правительства [1, 2, 3], государственные инвестиционные программы, активное привлечение зарубежных инвесторов - России, Китая, Турции и Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР). Широко внедряются новые строительные технологии, инновационные решения в области энергосбережения и экологической безопасности. Особое внимание уделяется вопросам сейсмостойкости зданий и развитию концепции умных домов (Smart Homes). Идет активный процесс подготовки кадров. Помимо отечественных вузов, открыты десятки филиалов зарубежных образовательных учреждений, сотни молодых людей отправляют для обучения за границу, то есть руководство страны проявляет большую заинтересованность в появлении значительного числа специалистов, обладающих глубокими теоретическими знаниями и должным профессиональным мастерством. Однако, несмотря на постоянно идущую работу в этом направлении, общество испытывает острую нехватку в высококвалифицированных специалистах, в первую очередь, инженерных кадрах, отвечающих за качество выполнения проектных работ, внедрение современных технологий, разработку новых строительных материалов.

Любой строительный объект является результатом работы различных групп специалистов – проектировщиков, производителей строительных материалов и конструкций, строителей, осуществляющих возведение зданий и сооружений. От квалификации всех этих специалистов зависит качество

конечного продукта. Причем, примерно, в 80% случаях аварии зданий и сооружений происходят в результате пересечения двух независимых негативных событий: события, состоящего в неожиданном появлении внешнего запроектного воздействия, провоцирующего аварию, и события, заключающегося в том, что при возведении и/или эксплуатации объекта допущена определенная совокупность человеческих ошибок, снизившая уровень его конструкционной безопасности. Как показывает международный опыт проведения экспертиз строительных объектов, второе событие может наступить из-за ошибок проектировщиков в 15% случаев, по вине поставщиков материалов и конструкций - в 25%, а по вине строителей – в 60%.

Большая часть этих специалистов получают образование в вузах республики. И как отмечают работодатели, основными недостатками в их подготовке являются оторванность от реальной практической деятельности и невысокий уровень теоретических знаний. Значит некоторая доля ответственности лежит и на системе подготовки кадров, педагогических коллективах, обучающих и присваивающих соответствующую квалификацию.

### 2. Методология исследования

Основными методами исследований были приняты метод критического анализа и обобщение данных.

### 3. Результаты исследования

Подготовка специалистов в области гражданского и промышленного строительства в Республике Узбекистан осуществляется на основе Государственных



образовательных стандартов. Для того, чтобы учебные планы и программы дисциплин соответствовали требованиям сегодняшнего дня и отражали уровень развития строительной науки и техники, их постоянно пересматривают, корректируют, совершенствуют и актуализируют.

А так как Государственные образовательные стандарты, учебные планы и программы учебных дисциплин прошли должную экспертизу и соответствуют международному уровню, то, следовательно, необходимо повысить минимальные требования к выпускникам, получающим дипломы о высшем образовании. Например, рассмотреть вопрос о том, чтобы отдельным студентам, слабо овладевшим тем объемом знаний, который необходим дипломированному специалисту, вместо присвоения квалификации, выдавать сертификат о прослушивании соответствующих курсов.

Иной подход должен быть к тем выпускникам, которые проявили свои лучшие качества в период обучения в бакалавриате, а, может быть, уже продемонстрировали в магистратуре или на производстве способность достигать высоких стандартов, требуемых для профессионала. Особенно это касается тех, кто свою будущую профессиональную деятельность связывает с работой, влияющей на безопасность объектов строительства. Может быть, целесообразно исключительно для них при выпускающих кафедрах создавать одно- или двухгодичные специальности, перечень дисциплин в которых должен формироваться с учетом мнения работодателей, традиций университета и особенностей

Преподаватель здесь выступает в качестве консультанта, не вмешиваясь активно в творческий процесс, но при обращении дает компетентные советы. Студенты самостоятельно ищут проблему, которую следует решить для достижения поставленной цели, находят её возможные решения, обсуждают их и принимают окончательный вариант. Выступая перед аудиторией с докладом по результату работы, студенты приобретают чувство ответственности за выполненное дело, ощущают свою уверенность и показывают высокий уровень креативности. Образовательный результат этого метода наиболее значим, так как держит всю аудиторию в захватывающей деловой игре и позволяет каждому студенту высказать свое мнение в контексте будущей профессиональной деятельности.

Профессия строителя — не из легких. Овладение ей на должном уровне требует от молодого человека и определенного склада ума, и усердия в приобретении теоретических знаний, и освоении практических навыков. Не случайно, каждый четвертый студент в Германии не получает свой диплом. И, кроме того, если говорить образно, то сам процесс обучения — это освоение «азбуки» и «чтения по слогам». А вот «свободное чтение» — это уже результат постоянной работы выпускника над собой, его желания совершенствовать навыки и приобретать практический опыт в трудовых коллективах. В этом отношении, чтобы поднять профессиональный уровень выпускников, хорошим начинанием может быть образование при выпускающих кафедрах небольших проектных организаций, в которых студенты начинали бы осваивать проектные навыки, выполняя посильные задания, знакомились бы наиболее тесно с проектной

регионального рынка труда, а их содержание — постоянно развиваться и обновляться с учетом последних достижений в строительной отрасли. Обучение в специалитете должно быть направлено не столько на получение теоретических знаний, сколько на освоение практических навыков — новых расчетных методов и программ, принципов проектирования и т.п.

К проведению занятий, особенно связанных с выполнением проектных работ, следует привлекать высококвалифицированных инженеров-производственников. Такие творческие содружества будут выгодны как университетам, которые будут повышать свою престижность, предлагая своим студентам возможность получения высшего образования с последующим трудоустройством, так и организациям-партнерам, которые гарантируют себе набор квалифицированных сотрудников.

Современный студент значительно отличается от своих сверстников прошлого столетия. Он более сосредоточен на себе, менее нацелен на работу в команде, далеко не всегда проявляет инициативу в решении конкретных задач, менее стимулирован на глубокое освоение специальности, жаждет быстрого получения того или иного результата. Чтобы повысить заинтересованность в профессии, развить чувство коллективизма в принятии решений, развить профессиональную компетентность возможен возврат в обучении к одной из её забытых форм — «деловой игре», предполагающей решение проектных или производственных задач группами студентов на конкурентной основе.

работой, лучше понимали бы степень ответственности за результат своего труда.

Еще один очень важный вопрос — это допуск выпускников вузов к самостоятельной инженерной деятельности. В развитых странах к этому относятся гораздо более серьезно и ответственно.

В США для того, чтобы дипломированный инженер имел право самостоятельно принимать решения, связанные проектированием зданий и с возможностью утверждения своих решений личной подписью, минимальным требованием, помимо наличия образования, является успешная сдача двух стандартизованных экзаменов — «Основы инженерных наук» и «Принципы и практика в инженерных науках» [4]. Причем, в одних штатах студентам разрешено сдавать первый экзамен до получения диплома, а в других для этого требуется иметь несколько лет опыта работы.

Для проведения экзаменов в США аккредитована негосударственная некоммерческая организация «Национальный совет экзаменаторов для инженеров и изыскателей» (National Council of Examiners for Engineering and Surveying — NCEES). После сдачи экзамена «Основы инженерных наук» специалист получает статус инженера-интерна. Затем он проходит практику, срок которой составляет не менее двух лет (а в некоторых штатах не менее четырех лет), и только тогда инженер-интерн получает возможность зарегистрироваться для сдачи второго стандартизованного экзамена, состоящего из тестовых вопросов и расчетной части. После успешной сдачи экзамена «Принципы и практика в инженерных науках» инженер имеет право получить лицензию. В дальнейшем лицензированный инженер страхует свою

ответственность, и только тогда получает полное право ставить свою личную печать и подписать на чертежах и расчетах, выполняемых им в рамках создания проекта.

В Англии для получения квалификации дипломированного, так называемого привилегированного инженера, требуется не менее восьми лет — но чаще всего не менее 10 лет — университетского образования и последипломного образования [5]. Звание привилегированного инженера можно получить только на базе профессиональной негосударственной организации Великобритании — Совета инженеров (Engineering Council), в которую входят самые высококвалифицированные и опытные инженеры-строители страны. Соискатель звания привилегированного инженера должен иметь степень магистра (дополнительно приветствуется наличие степени доктора инженерных наук) и опыт работы (обычно не менее четырех—пяти лет). В результате собеседования в Совете инженеров, в ходе которого определяется уровень профессиональной компетентности соискателя и устанавливается наличие у него желания дальнейшего профессионального роста, может быть принято решение о присвоении звания привилегированного инженера. С этого момента он может самостоятельно нести ответственность за выполняемые расчеты и чертежи.

Аналогичный подход к подтверждению квалификации инженера наблюдается в Канаде и в Австралии, то есть инженер должен приобрести большой опыт работы и пройти дополнительную проверку, прежде чем он получит право самостоятельно принимать решения при создании проектов зданий или сооружений [5].

Системы допуска к профессии в развитых зарубежных странах позволяют гарантировать высокий уровень профессионализма инженеров-строителей. Подобная практика могла бы быть принята и в Узбекистане.

В том случае, когда будут пересмотрены подход к подготовке студентов и система допуска к профессии, общество сможет получить действительно квалифицированных специалистов, способных поднять строительную отрасль на высокий уровень, обеспечить надежность и долговечность строительных объектов и свести к минимуму риски аварий зданий и сооружений.

## 4. Заключение

Строительство является высокотехнологичной и наукоёмкой отраслью, ответственной за формирование конкурентноспособного образа Республики Узбекистан и требующей подготовки кадров нового поколения. Необходим новый вектор в специальном образовании,

способный обеспечить быстрый рост интеллектуального потенциала и инженерной компетенции отечественного строительного комплекса.

## Использованная литература / References

- [1] Указ Президента Республики Узбекистан, от 27.11.2020 г. № УП-6119 «Об утверждении Стратегии модернизации, ускоренного и инновационного развития строительной отрасли Республики Узбекистан на 2021-2025 годы»
- [2] Указ Президента Республики Узбекистан от 28.08.2023 г. № УП-151 «О мерах по эффективной организации государственного управления в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства в рамках административных реформ»
- [3] Постановление Президента Республики Узбекистан от 17.11.2022 г. № ПП-425. «О мерах по совершенствованию механизмов контроля при реализации строительных проектов, дальнейшему повышению открытости и прозрачности процесса»
- [4] Кривцова Н.Л. Подготовка инженеров в строительных университетах США и России // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 6.
- [5] Беликова Н.Б., Майзель Д.И., Пуляевская О.В. Анализ систем высшего образования для инженеров строительных специальностей в Великобритании, США, Канаде и Австралии // Вестник ИРГТУ – 2015. -№ 4(99)- С. 212 – 215.

## Информация об авторах/ Information about the authors

<p><b>Щипачева Елена Владимировна/ Shchipacheva Elena Vladimirovna</b></p>	<p>Ташкентский государственный транспортный университет, д.т.н., профессор кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений» e-mail: eshipacheva@mail.ru <a href="https://orcid.org/0009-0000-0489-445X">https://orcid.org/0009-0000-0489-445X</a></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>Пирматов Рахматулла Хамидуллаевич/ Rakhmatulla Khamidullaevich Pirmatov</b></p>	<p>Ташкентский государственный транспортный университет, к.т.н., профессор кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений»</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



## Elastic-plastic bending of three-layer rods under single and variable loading, taking into account damage and temperature effects

A. Abdusattarov<sup>1</sup>, E.I. Starovoitov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Belarusian state university of transport, Gomel, Belarus

**Abstract:** The article provides a scheme for calculating the deformation of three-layer elastoplastic rods with a rigid filler that are asymmetrical in thickness under single and variable loading, taking into account damage and temperature effects. Based on the Lagrange variational principle, the problem of bending three-layer rods under single and alternating loading is formulated. An approximate method based on the method of elastic solutions is used to solve the problems. The calculated values for three-layer rods are given, taking into account the cyclic characteristics of the materials, the accumulation of damage and the influence of temperature.

**Keywords:** three-layer rod, variable loading, temperature exposure, damage, variational principle, equations of equilibrium, displacement, angle of rotation

## Упругопластический изгиб трёхслойных стержней при однократном и переменном нагружении с учетом повреждаемости и температурного воздействия

Абдусаттаров А.<sup>1</sup>, Старовойтов Э.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

**Аннотация:** В статье приводится схема расчета деформирования несимметричных по толщине упругопластических трёхслойных стержней с жестким заполнителем при однократном и переменном нагружении с учетом повреждаемости и температурного воздействия. На основе вариационного принципа Лагранжа сформулирована постановка задачи изгиба трёхслойных стержней при однократном и знакопеременном нагружении. Для решения задач применяется приближенный метод, базирующийся на методе упругих решений. Приведены расчетные величины для трёхслойных стержней с учетом циклических характеристик материалов, накопления повреждений и влияния температуры.

**Ключевые слова:** трёхслойный стержень, переменное нагружение, температурное воздействие, повреждаемость, вариационный принцип, уравнения равновесия, перемещения, угол поворота

### 1. Введение

В области строительства и техники широкое применение находят слоистые конструкции, в частности, трёхслойные, выполненные из материалов с существенно отличающимися физико-механическими и прочностными свойствами, обладающие широким спектром новых качеств: высокой несущей способностью и изгибной жесткостью, стойкостью к тепловым воздействиям, сравнительно малым удельным весом по сравнению с традиционными однослойными конструкциями. Несущие слои из материалов высокой прочности и жесткости предназначены для восприятия основной части механической нагрузки. Связующие слои, служащие для образования монолитной конструкции, обеспечивают перераспределение усилий между несущими слоями.

Работа большинства несущих элементов трёхслойных конструкций происходит на фоне выхода материалов за пределы упругости. При действии циклических нагрузок это приводит к возникновению ряда дополнительных явлений, таких как вторичные пластические деформации, изменение диаграмм деформирования, теплообразование, накопление

повреждений и распространение трещин, приводящих к разрушению материалов.

**Литературный анализ.** В монографии [1] разработаны основные уравнения переменной пластичности, введено кинетическое уравнение повреждаемости для оценки циклической и длительной прочности элементов конструкций. В книге [2] приведены методы расчета многослойных конструкций на статические, динамические и температурные воздействия. Показаны способы определения эффективных физико-механических характеристик, а также оптимального выбора параметров слоистых композиционных материалов. В работах [3–5] проанализированы общие подходы к построению теорий деформирования неоднородных слоистых элементов конструкций при квазистатических и динамических нагрузках. Изложены постановки и методы решения задач трёхслойных элементов конструкций, связанных с учетом упругих оснований при силовых, тепловых и радиационных воздействиях [5]. Учтены физически нелинейные свойства материалов слоев. Приведен ряд аналитических и численных решений для трёхслойных стержней и пластин.





В работе [6] рассмотрены современные проблемы оценки сопротивления материалов и элементов конструкций действию широкого круга повреждающих факторов. Обосновывается применение уравнений состояния, моделей деформирования и разрушения при кратковременном и длительном, малоцикловом и многоцикловом нагружениях. Подробное описание диаграмм циклического деформирования для различных конструкционных материалов выполнено в [7] и показаны возможные уточнения интерпретаций диаграмм при решении задач циклической прочности.

Статья [8] посвящена проблеме построения математических моделей повреждаемых термоупруговязкопластических сред и методам определения «нестандартных» констант моделей, связанных с параметрами повреждаемости и подлежащих экспериментальному определению. В работе [9] рассматривается компьютерное моделирование процессов деформирования, повреждаемости и континуального разрушения нелинейных материалов и конструкций. В статье [10] рассматривается современная теория неупругости (термовязкопластичности), являющаяся обобщением и развитием идей, содержащихся в различных вариантах теории пластичности, ползучести, неупругости и накопления повреждений. Работа [11] посвящена построению определяющих соотношений на основе экспериментального исследования, установлены области физической достоверности теории пластичности применительно к процессам сложного циклического нагружения.

Основы расчета механики слоистых балок, пластин и оболочек при термосиловых нагружениях изложены в монографии [12]. Работы [13, 14] посвящены исследованию изгиба сэндвич-пластин в зависимости от их формы, наличия упругих и жестких опор, упругого основания и вида ячеистого заполнителя.

В статьях [15-16] выведены уравнения равновесия и предложены методы решения упругих, упругопластических и вязкоупругопластических стержней. Численно исследована НДС трехслойных стержней при действии однократных и циклических нагрузок. Сформулирована постановка краевой задачи и получено ее решение для трёхслойной пластины с упругопластическими несущими слоями и нелинейно упругим заполнителем при нагружении из естественного состояния и повторном знакопеременном нагружении. Учтено влияние кольцевой равномерно

распределенной нагрузки и температурного воздействия.

В работах [17-19] приведены постановки и методы решения задач деформирования упругих и упругопластических элементов конструкций при однократном и циклическом нагружениях. На основе вариационного принципа получены система дифференциальных уравнений равновесия и движения для элементов конструкции, при этом учитываются повреждаемости материалов. Приводится упругопластический расчет тонкостенных стержней и магистральных трубопроводов при пространственно-переменном нагружении с учетом обобщенного принципа Мазинга. Исследовано НДС тонкостенных стержней и пластинок при переменном нагружении с учетом вторичных пластических деформаций и повреждаемости материалов.

## 2. Методология исследования

Целью задачи являются исследования моделей деформирования трёхслойных упругопластических стержней на основе ряда гипотез и вариационного принципа Лагранжа, получение систем дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях при переменном нагружении и схема реализации расчета с использованием метода «упругих» решений, а также анализ НДС при однократном и переменном нагружении с учетом обобщенного принципа Мазинга, накопления повреждаемости в слоях и температурного поля.

**Постановка задачи.** Рассматривается изгиб несимметричного по толщине упругопластического стержня на упругом основании. Система координат связывается со срединной плоскостью заполнителя (рис.1). Допускается, что для тонких несущих слоев 1, 3 справедливы гипотезы Бернулли, а для несжимаемого по толщине заполнителя 2 предполагается, что нормаль остаётся прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол  $\psi(x)$ . Деформации считаются малыми. На внешний слой стержня по длине действуют распределённые силовые нагрузки  $p(x)$  и  $q(x)$ , а также реакция основания  $q(x)$  (Рис.1). На торцах предполагается наличие жестких диафрагм. Здесь  $h_k$  – толщина  $k$ -го слоя ( $k=1,2,3$  – номер слоя), при этом  $h_2=2c$ .

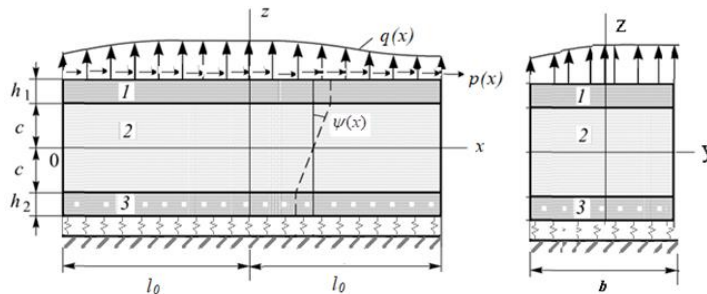


Рис. 1. Нагружение трехслойного стержня, связанного с упругим основанием

В соответствии с принятыми геометрическими гипотезами продольные перемещения в слоях  $u^{(k)}$  выражаются через три искомых функции  $u(x)$ ,  $\psi(x)$ ,  $w(x)$  [2]:

$$\begin{aligned} u_x^{(1)} &= u + c\psi - zw_{,x}, & c \leq z \leq c + h_1; \\ u_x^{(3)} &= u + z\psi - zw_{,x}, & -c \leq z \leq c; \\ u_x^{(2)} &= u - c\psi - zw_{,x}, & -c - h_2 \leq z \leq -c. \end{aligned} \quad (1)$$



где  $z$  – расстояние от рассматриваемого волокна до срединной плоскости заполнителя; запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Используя соотношения Коши и выражения (1),

$$S_{ij}^{(k)} = 2G_k(1 - \omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)}, T^{(k)}))\varepsilon_{ij}^{(k)}; \quad \sigma^k = 3K_k(\varepsilon^{(k)} - \alpha_{0k}T^{(k)}) \quad (2)$$

Здесь  $S_{ij}^{(k)}$ ,  $\sigma^{(k)}$ ,  $\varepsilon_{ij}^{(k)}$ ,  $\varepsilon^{(k)}$  – девятёрные и шаровые части тензора напряжений;  $G_k$ ,  $K_k$  – модуль сдвиговой и объёмной деформаций;  $\varepsilon_u^{(k)}$  – интенсивность деформации;  $\omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)})$  – в несущих слоях функция

$$\omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)}) = \begin{cases} 0, & \varepsilon_u^{(k)} \leq \varepsilon_y^{(k)}; \\ A \left(1 - \frac{\varepsilon_y^{(k)}}{\varepsilon_u^{(k)}}\right)^\alpha, & \varepsilon_u^{(k)} > \varepsilon_y^{(k)}; \end{cases} \quad \omega^{(3)}(\varepsilon_u^{(3)}) = \begin{cases} 0, & \varepsilon_u^{(3)} \leq \varepsilon_{u0}^{(3)}; \\ A_1 \left(1 - \frac{\varepsilon_{u0}^{(3)}}{\varepsilon_u^{(3)}}\right)^{\alpha_1}, & \varepsilon_u^{(3)} > \varepsilon_{u0}^{(3)}. \end{cases} \quad (3)$$

#### Уравнения равновесия при однократном нагружении

Для вывода уравнения равновесия трехслойного стержня воспользуемся вариационным принципом Лагранжа [3]:

$$\delta(A - \Pi) = 0; \quad \delta A = \delta A_1 + \delta A_2 \quad (4)$$

где  $\delta A$  – вариации работы внешних сил:

$$\delta A_1 = b \int_0^l (P \delta u + (q + q_R) \delta W) dx;$$

Здесь  $q_R$  – реакция основания по Винклеру  $q_R = k_0 w$ ,  $k_0$  – коэффициент постели,  $b$  – ширина сечения стержня. Вариация работы внешних сил и моментов на торцах

$$\delta A_2 = (N_0 - N_l) \delta u + (Q_0 - Q_l) \delta w - (M_0 - M_l) \delta w_x \quad (5)$$

где  $N_0, Q_0, M_0, N_l, Q_l, M_l$  – заданные силы и моменты на торцах стержня ( $x=0, x=l$ ).  $\delta \Pi$  – вариации потенциальной энергии, имеющие вид [2] ( $dv = dz ds$ ;  $ds = b dx$ ):

$$\delta \Pi = b \int_0^l \left[ \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_x^{(k)} \delta \varepsilon_x^{(k)} dz + 2 \int_{h_3} \sigma_{xz}^{(3)} \delta \varepsilon_{xz}^{(3)} dz \right] dx. \quad (6)$$

Теперь определяем компоненты тензора напряжений в слоях, используя соотношения (2). Выделим линейные (индекс «е») и нелинейные (индекс «ω») части компонентов напряжений в следующем виде [2, 3]:

$$\sigma_x^{(k)} = \sigma_{xe}^{(k)} - \sigma_{x\omega}^{(k)}; \quad \sigma_{xz}^{(3)} = \sigma_{xze}^{(3)} - \sigma_{xz\omega}^{(3)}, \quad (7)$$

где

$$\sigma_{xe}^{(k)} = 2G_k \varepsilon_x^{(k)} + 3K_k \varepsilon^{(k)}; \quad \sigma_{x\omega}^{(k)} = 2G_k \varepsilon_x^{(k)} \omega^{(k)}(\varepsilon_u^{(k)});$$

$$\sigma_{xze}^{(3)} = 2G_3 \varepsilon_{xz}^{(3)}; \quad \sigma_{xz\omega}^{(3)} = 2G_3 \varepsilon_{xz}^{(3)} \omega^{(3)}(\varepsilon_u^{(3)}). \quad (8)$$

Проведем следующую подобную операцию с обобщенными внутренними усилиями и моментами:

$$N^{(k)} = N_e^{(k)} - N_\omega^{(k)}; \quad M^{(k)} = M_e^{(k)} - M_\omega^{(k)}; \quad Q^{(3)} = Q_e^{(3)} - Q_\omega^{(3)}. \quad (9)$$

Здесь соответствующие элементы (6) определяются по формулам, например,

$$N_\omega^{(k)} = b \int_{h_k} \sigma_{x\omega}^{(k)} dz; \quad M_\omega^{(k)} = b \int_{h_k} \sigma_{xz\omega}^{(k)} z dz; \quad Q_\omega^{(3)} = b \int_{-c}^c \sigma_{xz\omega}^{(3)} dz. \quad (10)$$

Определяя вариации работы внешних сил (5), потенциальной энергии (6) и подставляя их в уравнение (4), получаем систему дифференциальных уравнений равновесия трёхслойного стержня на упругом основании в усилиях с учетом физической нелинейности ( $q_R = 0$ ):

$$N_{,x}^e = -bP + N_{,x}^\omega; \quad H_{,x}^e - Q^e = H_{,x}^\omega - Q^e; \quad M_{,xx}^e = -b(q + q_R) + M_{,xx}^\omega, \quad (11)$$

где

$$N^e = \sum_{k=1}^3 N_e^{(k)}, \quad H^e = c(N_e^{(1)} - N_e^{(2)}) + M_e^{(3)}, \quad Q^e = Q_e^{(3)};$$

$$N_\omega = \frac{4}{3} b \sum_{k=1}^3 G_k \int_{h_k} \omega^{(k)} \varepsilon_x^{(k)} dz; \quad M_\omega = \frac{4}{3} b \sum_{k=1}^3 G_k \int_{h_k} \omega^{(k)} \varepsilon_x^{(k)} z dz; \quad Q_\omega = 2bG_3 \int_{-c}^c \omega_3 \psi dz. \quad (12)$$

Определив упругие составляющие внутренних усилий через искомые перемещения  $u, v, w$  и подставив их в уравнения (11), получим следующую систему нелинейных дифференциальных уравнений в перемещениях:

$$\begin{aligned} a_1 u_{,xx} + a_6 \psi_{,xx} - a_7 w_{,xxx} &= -p + p_\omega; \\ a_6 u_{,xx} + a_2 \psi_{,xx} - a_3 w_{,xxx} - a_5 \psi &= h_\omega; \\ a_7 u_{,xxx} + a_3 \psi_{,xxx} - a_4 w_{,xxxx} &= -q + q_\omega. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь коэффициенты  $a_1, a_2, \dots, a_7$  определяются по формулам:

$$\begin{aligned} a_1 &= K_1^+ h_1 + K_2^+ h_2 + 2K_3^+ c; \quad a_2 = c^2 \left[ K_1^+ h_1 + K_2^+ h_2 + \frac{2}{3} K_3^+ c \right]; \\ a_3 &= c \left[ K_1^+ h_1 \left( c + \frac{1}{2} h_1 \right) + K_2^+ h_2 \left( c_2 + \frac{1}{2} h_2 \right) + \frac{2}{3} K_3^+ c^2 \right]; \\ a_4 &= K_1^+ h_1 (c^2 + ch_1 + \frac{1}{3} h_1^2) + K_2^+ h_2 (c + ch_2 + \frac{1}{3} h_2^2) + \frac{2}{3} K_3^+ c^2; \\ a_5 &= 2G_3 c; \quad a_6 = c[K_1^+ h_1 - K_2^+ h_2]; \quad a_7 = K_1^+ h_1 (c + \frac{1}{2} h_1) - K_2^+ h_2 (c_2 + \frac{1}{2} h_2); \\ K_k^+ &= K_k^+ + \frac{4}{3} G_k, \quad (k = 1, 2, 3). \end{aligned} \quad (14)$$

В уравнении (13) нелинейные слагаемые имеют следующий вид:

$$P_{\omega} = \frac{1}{B_0} N_{,x}^{\omega}; \quad h_{\omega} = \frac{1}{B_0} (H_{,x}^{\omega} - Q^{\omega}); \quad q_{\omega} = \frac{1}{B_0} M_{,xx}^{\omega}.$$

Для решения системы (13) принимается приближенный метод – метод упругих решений. Для  $n$ -го приближения нетрудно переписать системы уравнений (13). Входящие в правые части величины  $p_{\omega}^{(n-1)}$ ,  $h_{\omega}^{(n-1)}$ ,  $q_{\omega}^{(n-1)}$  служат «дополнительными» внешними нагрузками. На первом шаге итерации они

нулевые, в дальнейшем на каждом шаге они вычисляются по результатам предыдущего приближения. Отметим, что процедура получения решения системы уравнений (13) не отличается от задачи теории упругости. В результате получаем искомое аналитическое решение в рекуррентном виде для  $n$ -го приближения [2]:

$$\begin{aligned} \psi^{(n)}(x) &= C_2^{(n)} sh(\beta x) + C_3^{(n)} ch(\beta x) + \frac{1}{\beta} [sh(\beta x) \int g^{(n)} ch(\beta x) - ch(\beta x) \int g^{(n)} sh(\beta x) dx]; \\ u^{(n)}(x) &= \gamma_3 \psi^{(n)} + \frac{1}{\alpha_2} [-a_4 L_2^{-1} (p - p_{\omega}^{(n-1)}) + a_7 L_3^{-1} (q - q_{\omega}^{(n-1)}) + \frac{a_7}{2} C_1^{(n)} x^2] + C_7^{(n)} x + C_8^{(n)}; \\ w^{(n)}(x) &= \frac{1}{\alpha_2} [\alpha_1 \int \psi^{(n)} dx - a_7 L_3^{-1} (p - p_{\omega}^{(n-1)}) + a_1 L_4^{-1} (q - q_{\omega}^{(n-1)}) + \frac{1}{6} a_1 C_1^{(n)} x^3] + \frac{1}{2} C_4^{(n)} x^2 + C_5^{(n)} x + C_6^{(n)}, \end{aligned} \quad (15)$$

где

$$g^{(n)}(x) = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \gamma_1 h_{\omega}^{(n-1)} + \gamma_2 (p - p_{\omega}^{(n-1)}) + \gamma_1 \left( \int (q - q_{\omega}^{(n-1)}) dx + C_1^{(n)} \right)$$

Константы интегрирования  $C_1^{(n)}, \dots, C_8^{(n)}$  определяются из условий закрепления стержня.

**Переменное нагружение с учетом повреждаемости.** Приводим теперь схема построение решения задачи для любого  $m$ -го переменного нагружения трехслойного упругопластического стержня на упругом основании с учетом накопления повреждаемости[1]. Предположим, что после  $(m-1)$  полуцикла нагружения, начиная с момента  $t_{m-1}$ , происходит мгновенная разгрузка и новое нагружение осуществляется усилиями обратного знака  $p^{(m)}$ ,  $q^{(m)}$

(здесь индекс « $m$ » – номер нагружения). Эти усилия создадут в  $k$ -м слое стержня поле перемещений  $\bar{u}^{(m,k)}$ ,  $\bar{v}^{(m,k)}$ ,  $\bar{w}^{(m,k)}$ , деформации  $\bar{\varepsilon}_x^{(m,k)}$ ,  $\bar{\varepsilon}_y^{(m,k)}$ ,  $\bar{\varepsilon}_z^{(m,k)}$  и напряжений  $\bar{\sigma}_x^{(m,k)}$ ,  $\bar{\sigma}_y^{(m,k)}$ ,  $\bar{\sigma}_z^{(m,k)}$ ,  $\bar{\sigma}_{xz}^{(m,k)}$ .

Считаем, что соотношения Коши, связывающие деформации и перемещения для величин с «чертой», будут справедливы. Для связи напряжений и деформации примем физические уравнения состояния типа (2), учитывающие повреждаемости материала :

$$\bar{\varepsilon}_{ij}^{(m,k)} = 2G_k \bar{f}^{(m,k)} (\bar{\varepsilon}_u^{(m-1,k)}, \eta^{(m-1,k)}) \bar{\varepsilon}_{ij}^{(m,k)}; \quad \bar{\sigma}^{(m,k)} = 3K_k \bar{\varepsilon}^{(m,k)}, \quad (16)$$

где

$$\bar{f}^{(m,k)} = \left( 1 - \omega^{(m,k)} (\bar{\varepsilon}_u^{(m,k)}, \eta^{(m-1,k)}) \right). \quad (17)$$

При учете повреждаемости функции пластичности можно представить в виде

$$\omega^{(m,k)} = \begin{cases} 0, & \bar{\varepsilon}_u^{(m,k)} \leq \bar{\varepsilon}_{sm}^{(k)}(\eta); \\ \lambda_m \left( 1 - \frac{\bar{\varepsilon}_{sm}^{(k)}(\eta)}{\bar{\varepsilon}_u^{(m,k)}} \right)^{\alpha}, & \bar{\varepsilon}_u^{(m,k)} > \bar{\varepsilon}_{sm}^{(k)}(\eta). \end{cases} \quad (18)$$

Здесь переменный предел текучести:

$$\bar{\varepsilon}_{sm}^{(k)}(\eta) = \alpha_1^{m-r} (1 + \alpha_1) \varepsilon_{sk}^{(k)} + (3G_{1k})^{-1} \cdot B^{1/\alpha} \left[ 1 - 0,5(1 + \alpha_1) \alpha_1^{n-2} \right] \cdot [1 - (1 - \eta^{(k)})^{1+m}]^{m-1/\alpha}. \quad (19)$$

Функция повреждаемости  $\eta^{(k)}$  определяется из кинетического уравнения [1]:

$$\frac{\partial \eta_m^{(k)}}{\partial \lambda_m} = f^{(m,k)} (\bar{\sigma}_u^{(m,k)}, \eta_m^{(k)}); \quad f^{(m,k)} = A \frac{(\bar{\sigma}_u^{(m,k)})^{\alpha}}{(1 - \gamma \eta_m^{(k)})^{\beta}} \quad (20)$$

при условии  $\eta(0) = 0$ ,  $\eta(\lambda_N) = 1$ , где  $\lambda_N$  – число полуциклов до наступления предельного состояния (разрушения).

Используя физические соотношения (17), здесь также компоненты напряжений и внутренних усилий подразделим на линейные и нелинейные составляющие,

$$\bar{N}_e^{(m,k)} = b \int_{h_k} \bar{\sigma}_{xe}^{(m,k)} dz, \dots, \quad \bar{M}_{\omega}^{(m,k)} = b \int_{h_k} \bar{\sigma}_{z\omega}^{(m,k)} z dz. \quad (21)$$

В этом случае, соответствующие итерационные уравнения равновесия стержня в перемещениях (13) на  $n$ -м шаге для величин с чертой при  $m$ -м полуцикле имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} a_1 \bar{u}_{,xx}^{(m,n)} + a_6 \bar{\psi}_{,xx}^{(m,n)} - a_7 \bar{w}_{,xxx}^{(m,n)} &= -\bar{p}^{(m)} + \bar{p}_{\omega}^{(m,n-1)}; \\ a_6 \bar{u}_{,xx}^{(m,n)} + a_2 \bar{\psi}_{,xx}^{(m,n)} - a_3 \bar{w}_{,xxx}^{(m,n)} - a_5 \bar{\psi}^{(m,n)} &= \bar{h}_{\omega}^{(m,n-1)}; \\ a_7 \bar{u}_{,xxx}^{(m,n)} + a_3 \bar{\psi}_{,xxx}^{(m,n)} - a_4 \bar{w}_{,xxx}^{(m,n)} &= -\bar{q}^{(m)} + \bar{q}_{\omega}^{(m,n-1)}. \end{aligned} \quad (22)$$

Величины  $\bar{p}_{\omega}^{(m,n-1)}$ ,  $\bar{h}_{\omega}^{(m,n-1)}$ ,  $\bar{q}_{\omega}^{(m,n-1)}$ , соответствующие неупругим составляющим в (22) на первом шаге при не учёте повреждаемости считаем известными, в следующем шаге вычисляются по результатам предыдущего приближения, т.е.

$$x = 0, \quad l: \quad \bar{w}^{(m,n)} = \bar{u}^{(m,n)} = \bar{\psi}^{(m,n)} = \bar{w}_{,x}^{(m,n)} = 0. \quad (23)$$

используется модификация метода «упругих» решений. Для решения краевых задач необходимо добавить граничные условия. Например, в случае жёсткой заделки обоих торцов стержня должны выполняться граничные условия:



Отметим, что искомые решения задачи на  $m$ -м нагружении с учетом приведённых соотношений определяются следующим образом:

$$\sigma_x^{(m,k)}(x,z) = \sigma_x^{(k)} - \sum_{m=2}^N (-1)^m \bar{\sigma}_x^{(m,k)}(x,z); \quad \varepsilon_x^{(m,k)}(x,z) = \varepsilon_x^{(k)} - \sum_{m=2}^N (-1)^m \bar{\varepsilon}_x^{(m,k)}(x,z), \quad (25)$$

где величины с одним штрихом – напряжения и деформации в трехслойном стержне при однократном нагружении.

Таким образом, краевая задача для величин с «чертой» с точностью до обозначений совпадает с краевой задачей упругопластического расчета. Поэтому в некоторых случаях можно будет построить рекуррентные численно – аналитические решения [3, 5].

**Примеры расчета.** В качестве примера приведем результаты расчета деформирования трехслойных стержней при знакопеременном нагружении. Трехслойный стержень выполнен из материалов D16T –

фторопласта – D16T с толщиной слоев:  $h_1 = h_2 = 0.03$ ,  $c = 0.09$ . На рис.2 показано изменение прогиба  $w^{(m)}(x)$  и  $\psi^{(m)}(x)$  трехслойного стержня (консольное закрепление) при знакопеременном нагружении: 1 – упругий расчет; 2 – упругопластический; 3<sup>x</sup> – упругопластический на 10-м полуцикле. Здесь кривые с одним штрихом соответствуют нагружению из естественного состояния, с двумя означают – повторный изгиб знакопеременной нагрузкой ( $q = 2.5 \text{ МПа}$ ).

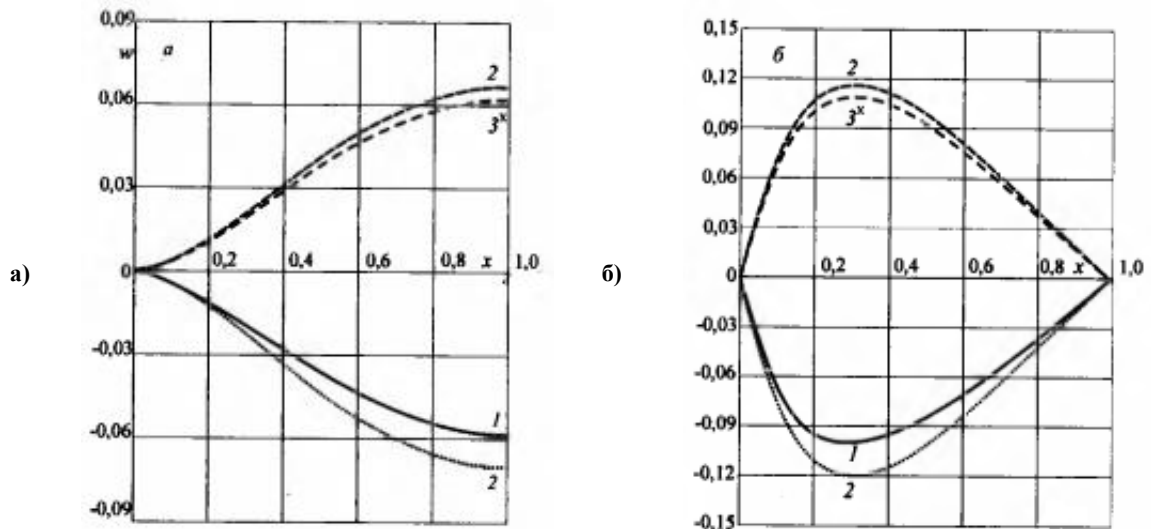


Рис. 2. Изменение прогиба  $w^{(m)}$  (а) и сдвига  $\psi^{(m)}$  (б) трехслойного стержня

Отметим, что учет нелинейности в данной задаче приводит к увеличению максимальных напряжений во внешних слоях на 4–5%, в заполнителе на 12–14%. В работе [3] отмечено, что результаты расчета существенно зависят от значения коэффициента постели  $k_0$  ( $k_0 = 1, 10^2, 10^5 \text{ МПа/м}$ ).

В качестве второго примера проводятся результаты расчета трехслойного стержня со сжимаемым заполнителем в температурном поле. Материалы слоев также D16T-фторопласт-D16T. Интенсивность поверхностной нагрузки  $q_0 = -10 \text{ МПа}$ . Относительная толщина слоев  $h_1 = 0.04$ ,  $h_2 = 0.02$ ,  $h_3 = 0.18$ . Температурный режим применяется таким, как в работе

[2]. Для учета влияния температуры на упругие характеристики материала несущих слоев принималась формула Белла, для заполнителя – температурная составляющая из [2].

На Рис. 3. а) и б) показано влияние температуры и физической нелинейности материалов: на прогибы – а) и продольные перемещения – б) в первом слое. Нумерация кривых: 1-упругий стержень; 2-термоупругий; 3-термоупругопластический. Здесь увеличение продольных перемещений незначительно, у прогибов оно составляет в конечном итоге 53 % по сравнению с упругим.

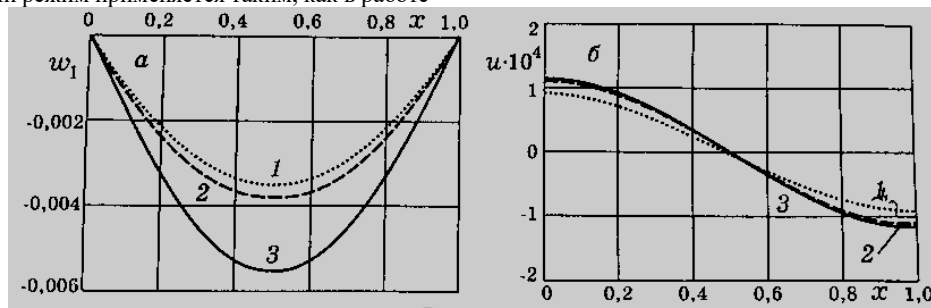


Рис. 3. Изменение прогиба  $w_1$  (а) и продольного перемещения  $u$  (б) трехслойного стержня

Относительная деформация заполнителя  $\varepsilon_{zz}$  изменяет свою форму, а именно кроме обжатия появляются зоны растяжения вблизи опор в

заполнителе, где и достигаются максимальные значения.



### 3. Заключение

На основе вариационного принципа Лагранжа сформулирована постановка задачи, приведены система дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях трёхслойного упругопластического стержня при однократном и переменном нагружении с учетом повреждаемости. Проанализирована кинетика напряженно-деформированного состояния трёхслойного стержня при знакопеременном нагружении с учетом циклических характеристик материалов и температурного поля. Показано, что использование обобщенного принципа Мазинга при расчете трехслойных стержней позволяет получить решение задачи для любого интересующего цикла нагружений.

### Использованная литература / References

- [1] Москвитин В.В. Циклические нагружения элементов конструкций. М.: URSS. 2019, 344 с. (перезд).
- [2] Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. –М.: Машиностроение. – 1980. –375 с.
- [3] Старовойтов Э.И., Яровая А.В., Леоненко Д.В. Деформирование трехслойных элементов конструкции на упругом основании. М.: Физматлит, 2006. – 379 с.
- [4] Старовойтов Э. И., Леоненко Д. В., Рабинский Л. Н. Деформирование трехслойных физически нелинейных стержней. М.: МАИ, 2016. –184 с.
- [5] Савицкий Д.М. Изгиб упругого трехслойного стержня в нейтронном потоке // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2014. №3. С.110 – 114.
- [6] Трошенко В.Т., Лебедев А.А. и др. Механическое поведение материалов при различных видах нагружений. Киев, 2000. –571 с.
- [7] Гусенков А.П., Москвитин Г.В., Хорошилов В.Н. Малоцикловая прочность оболочечных конструкций. М.: Наука, 1989. –254 с.
- [8] Киселев А.Б. Модели необратимого динамического деформирования и микроразрушения повреждаемых сред. //Упругость и неупругость. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 381–383.
- [9] Кукуджанов В .Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций. М.: МФТИ, 2008. – 215 с.
- [10] Бондарь В.С. Термовязкопластичность. Теория и эксперимент // Упругость и неупругость. М.: Изд-во Московского университета, 2011. С.122–128.

[11] Абиров Р.А. Развитие математической модели пластичности с учетом деформирования материалов при сложном нагружении: Автореф. дис...докт. физ.-мат-наук, Ташкент: 2014. –52с.

[12] Carrera E., Fazzolari F.A., Cinefra M. Thermal Stress Analysis of Composite Beams, Plates and Shells: Computational Modelling and Applications. Academic Press, 2016. – 410 p.

[13] Lee C.R., Sun S.J., Kam T.Y. System parameters evaluation of flexibly supported laminated composite sandwich plates // AIAA Journal. Vol.45. 2007. №9. Pp.2312 – 2322.

[14] Zenkour A. M., Alghamdi N. A. Thermomechanical bending response of functionally graded nonsymmetric sandwich plates // Journal of Sandwich Structures and Materials. Vol.12. 2009. №1. Pp.7 – 46.

[15] Старовойтов Э.И., Яровая А.В. Вязкоупругопластический трехслойный стержень при термосиловых нагрузках // МТТ. Изв. РАН. 1998. № 3. С. 109–116.

[16] Старовойтов Э.И., Леоненко Д.В., Абдусаттаров А. Изгиб трехслойной пластины в температурном поле знакопеременной кольцевой нагрузкой // Механика композиционных материалов и конструкций. Т.28. 2022. №3. С.339 – 358.

[17] Abdusattarov A., Starovoitov E.I., Ruzieva N.B. Modeling of Nonlinear Deformation and Damage of Underground Core Pipelines Under Cyclic Loads, Taking into Account Large Deformations AIP Conf. Proc.3265, 050007 (2025). <https://doi.org/10.1063/5.0265356>

[18] Абдусаттаров А., Старовойтов Э.И., Рузиева Н.Б. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях. Ташкент: «IDEAL PRESS», 2023. – 381 с.

[19] Абдусаттаров А. Прикладные задачи механики деформируемого твердого тела. Ташкент: «IDEAL PRESS», 2024. – 221 с.

### Информация об авторах/ Information about the authors

**Абдусаттаров А.** Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Старовойтов Э.И.** Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь



## Mathematical modeling using software to determine the stability of railway track slopes in sandy soils

Sh.A. Tadjibayev<sup>1</sup> <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This article is devoted to the application of mathematical modeling methods in the construction industry. The paper discusses the basic principles and approaches to using mathematical models to optimize processes, predict risks, and improve the quality of construction projects. The article also discusses the advantages and limitations of using mathematical models in construction. Special attention is paid to the prospects for the development of mathematical modeling in construction, the development of optimization methods, the use of 3D modeling and virtual reality, as well as the development of new data analysis methods. This article also presents the results of studies conducted using Plaxis 2D and Geo-5 models, which showed that reinforced concrete sheets in soils cannot be assembled from geosynthetic materials. This article is of interest to specialists in the field of construction, design and project management, as well as to students and teachers of relevant specialties.

**Keywords:** railway roadbed, mathematical modeling, software, designing, coefficient of stability geosynthetic materials, sandy soil, technology, fortifications

## Qumli gruntlarda temir yo'l yer polotnosi ko'tarma qiyaliklari ustuvorligini ta'minlash uchun dasturiy ta'minotlardan foydalangan holda matematik modellash

Tadjibayev Sh.A.<sup>1</sup> <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Ushbu maqola temir yo'l qurilish sohasida matematik modellash usullarini qo'llashga bag'ishlangan. Ish jarayonlarni optimallashtirish, xavflarni bashorat qilish va qurilish loyihalari sifatini yaxshilash uchun matematik modellardan foydalanishning asosiy tamoyillari va yondashuvlarni talab etadi. Maqolada qurilishda matematik modellardan foydalanishning afzalliklari va cheklavlari ham muhokama qilingan. Qurilishda matematik modellashni rivojlantirish, optimallashtirish usullarini ishlab chiqish, 3D modellash va virtual modellarni haqiqiy ishlab chiqarishda qo'llash, shuningdek, ma'lumotlarni tahlil qilishning yangi usullarini ishlab chiqish istiqbollariga alohida e'tibor qaratilmoqda. Shuningdek ushbu maqolada Plaxis 2D va Geo-5 dasturiy ta'minotlaridan foydalangan holda qumli gruntlarda temir yo'l yer polotnosi ko'tarma qiyaligining geosintetik materiallar bilan mustahkamlanmagan hamda mustahkamlangan holda ustuvorlik koeffitsienti hisobiy natijalari keltirilgan. Ushbu maqola qurilish, loyihalash va loyihalarni boshqarish sohasidagi mutaxassislar, shuningdek tegishli mutaxassisliklar talabalari va professor - o'qituvchilari uchun qiziqish uyg'otadi.

**Kalit so'zlar:** temir yo'l yer polotnosi, matematik modellash, loyihalash, dasturiy ta'minot, ustuvorlik koeffitsienti geosintetik materiallar, qiyalik, qumli grunt, texnologiya, mustahkamlik

### 1. Kirish

Temir yo'llar yer polotnosi qiyaliklari shamol va suv ta'sirida eng ko'p zarar ko'ruvchi elementlardan biri hisoblanadi. Barcha toifadagi yo'llar ekspluatatsion ishonchligini va uzoq vaqtga chidamliligini oshirish usullarining umumiy strukturasi birinchi navbatda yer polotnosi qiyaliklari ustuvorligini ta'minlashga e'tibor qaratish kerak [1,2,5].

Temir yo'l infratuzilma ob'ektlaridan ishonchli foydalanishni ta'minlab beruvchi tadbirlar kapital ta'mirlash yoki yangi qurilishda amalga oshirilishi mumkin. Murakkab muhandislik-geologik sharoitlarda mayda qumlardan barpo etilgan er polotnosi konstruksiyalarida geotekstil materiallarni qo'llash resurslarni tejashdan ko'ra konstruksiyaning ishlash qobiliyati va transport-

ekspluatatsion ishonchligi nuqtai nazaridan ahamiyatli hisoblanadi. Geosintetik materiallarni qo'llashning jaxon tajribasi shuni ko'rsatadiki, ushbu materiallar boshqa qurilish konstruksiyalariga nisbatan qo'llanilish soxasi, tejamkorlik va ekologik jixatdan birmuncha afzalroq sanaladi.[2,5]

Yer polotnosi gruntlarini kuchaytirishni loyihalashda zarur mustahkamlanadigan qismini baholash, grunt massiviining kuchlanganlik – deformatsiyalangan holatini (KDH) hisobga olgan holda uning joylashuvini aniqlash zarur bo'ladi [3,4]. Shu bilan birga yer polotnosi ko'tarma turini tanlash, baholash va ustuvorligini ta'minlash dolzarb hisoblanadi, bu esa majmuaviy yondashuvni talab etadi [2,4,5].

Ko'tarma ustuvorligini hisoblash chegaraviy holatlarnig birinchi guruhiga kiradi. Shuning uchun ustuvorlik ko'tarma

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9748-2568>

gruntlarining zo'riqish-deformatsion holati va mustahkamligi bilan aniqlanadi. Grunt massivining hajmiy holati mustahkamlik va fizik-mexanik xususiyatlar – deformatsiya moduli, solishtirma og'irlik va ichki ishqalanish burchagi bilan tavsiflanadi [6,7,8].

## 2. Tadqiqot metodikasi

Xar qanday konstruksiyaning ishonchligini aniqlashda birinchi navbatda nazariy jixatdan matematik hisob – kitoblar asos qilib olinadi.

Shu jumladan yer polotnosi ko'tarma qiyaligi ustuvorligini ta'minlashning asosiy talablardan biri xar qanday qurilish sharoitida ustuvorlik koeffitsienti xar doim  $K \geq 1,2$  bo'lishi kerak.

Ushbu talablarning ta'minlanganligini aniqlash uchun professor G.M. Shaxunyan tomonidan ishlab chiqilgan [9].

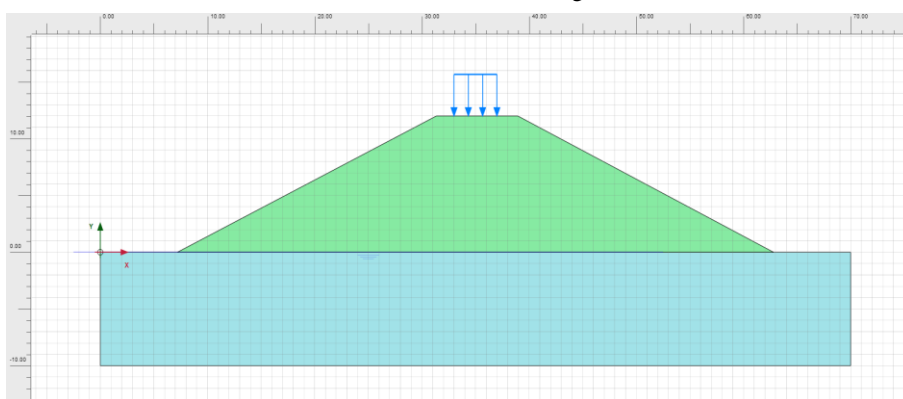
$$K = \frac{\sum M_{ud}}{\sum M_{sd}} = \frac{\sum (c_i l_i + f_i N_i + T_{iyd})}{\sum T_{icd}} \quad (1)$$

formula asos qilib olingan holda bugungi kunda qurilish loyiha tashkilotlarida keng qo'llanilib kelayotgan Plaxis 2D va Geo 5 dasturiy ta'minotlari yordamida ko'tarma qiyaligining ustuvorlik koeffitsienti hisoblab topildi. [10,11,12].

Plaxis 2D va «GEO 5» dasturiy ta'minoti yordamida hisob-kitoblar uchun zarur bo'lgan grunt xususiyatlari «BOSHTRANSLOYIHA» AJ [13] tomonidan «Dungulyuk-Burgutli-Misken mavjud temir yo'l uchastkasini Sho'rbuloq suv omborining sel zonasidan olib chiqish» ob'ekti uchun tayyorlangan muhandislik-geologik hisobotlaridan olingan.

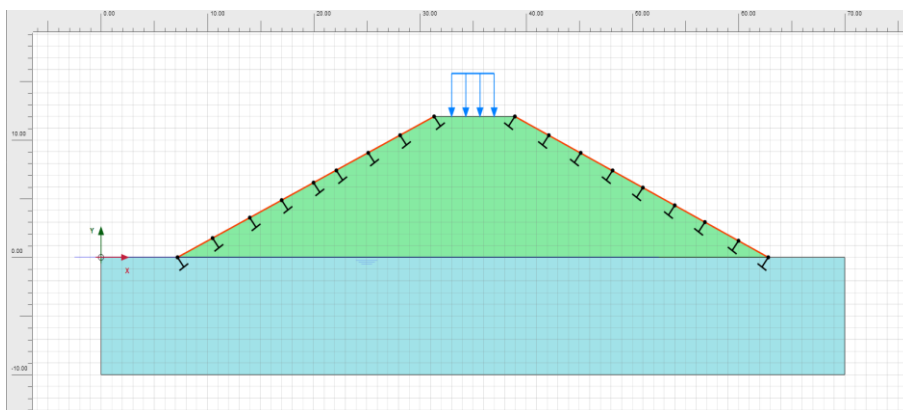
*Birinchi usul* – «Plaxis 2D» dasturiy ta'minoti yordamida ko'tarma qiyaligi ustuvorlik koeffitsienti mustahkamlanmagan va geosintetik materiallar (geotekstil va hajmli geopanjara) bilan mustahkamlash orqali aniqlangan.

«Plaxis 2D» dasturiy ta'minoti bilan ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik koeffitsientini hisoblash modeli 1 – rasmda keltirilgan.



1 – rasm. Mustahkamlanmagan ko'tarma qiyaliklarini ustuvorlik koeffitsientini hisoblash modeli

«Plaxis 2D» dasturiy ta'minoti yordamida ko'tarma qiyaliklarini geosintetik materiallar bilan mustahkamlash orqali ustuvorlik koeffitsientini hisoblash modeli 2 – rasmda keltirilgan.

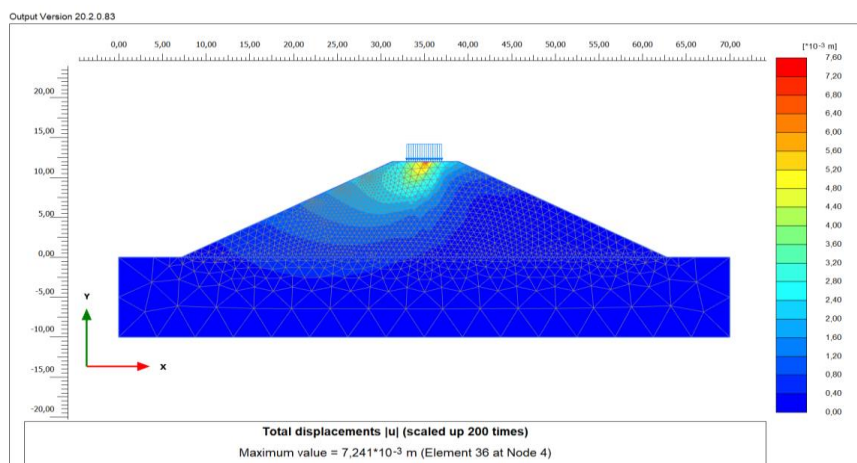


2 – rasm. Geosintetik materiallar bilan mustahkamlangan ko'tarma qiyaligi ustuvorlik koeffitsientini hisoblash modeli

«Plaxis 2D» dasturiy ta'minoti yordamida ko'tarmaning asosiy maydoniga tashqi kuch ta'sir ettirilib, vaqt birligi ichida kuchning ko'chish natijasi grafiqi 3 – rasmda keltirilgan. Unga ko'ra tashqi kuch ta'sirida ko'tarma

qiyaligi geosintetik materiallar bilan mustahkamlanmagan holatda ko'chishning qiymati  $U = 7.241 \cdot 10^{-3}$  m teng ekanligi aniklandi.

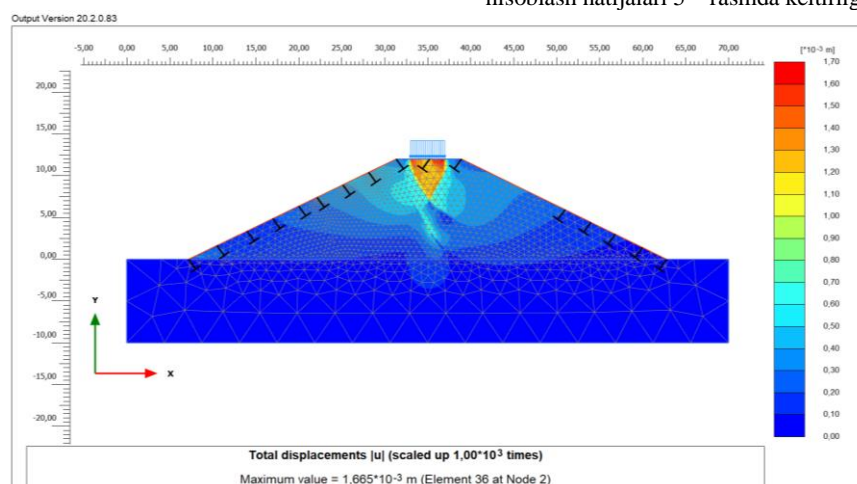




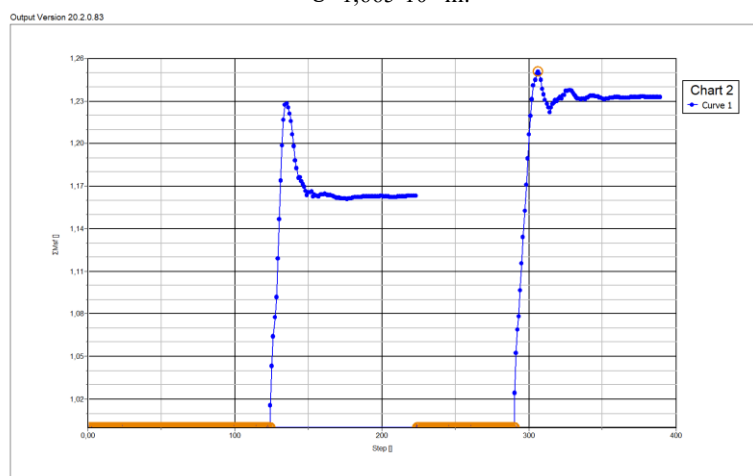
3 – rasm. Ko'tarma qiyaligi geosintetik materiallar bilan mustahkamlanmagan holda vaqt birligi ichida kuchning ko'chish qiymati.  $U=7,241 \cdot 10^{-3}$  m.

“Plaxis 2D” dasturiy ta'minoti yordamida ko'tarmaning qiyaliklari geosintetik materiallar bilan mustahkamlangan holatda yer polotnosining asosiy maydoniga tashqi kuch ta'sir ettirilib, vaqt birligi ichida kuchning ko'chish grafigi natijasi 4 – rasmda keltirilgan. Unga ko'ra tashqi kuch ta'sirida ko'tarma qiyaligi geosintetik materiallar bilan mustahkamlanganda kuchning ko'chish qiymati  $U=1,665 \cdot 10^{-3}$  m teng ekanligi aniklandi.

Yuqoridagi grafiklarga asoslangan holda ko'tarma qiyaligi geosintetik materiallar bilan mustahkamlanganda poyezdan tushadigan tashqi kuch ta'sirida tebranma harakatning vaqt birligi ichida ko'chishi, geosintetik materiallar bilan mustahkamlanmagan ko'tarmada ko'chishga nisbatan kamayishi aniqlandi. Ko'tarma qiyaliklari mustahkamlanmagan va geosintetik materiallar bilan mustahkamlangan holda ustuvorlik koeffitsientining hisoblash natijalari 5 – rasmda keltirilgan.



4 – rasm. Qiyaliklarni geosintetik materiallar mustahkamlash bilan vaqt birligi ichida kuchning ko'chish natijalari.  $U=1,665 \cdot 10^{-3}$  m.



5 – rasm. Ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik koeffitsientini “Plaxis 2D” dasturiy ta'minoti bilan hisoblash natijalari

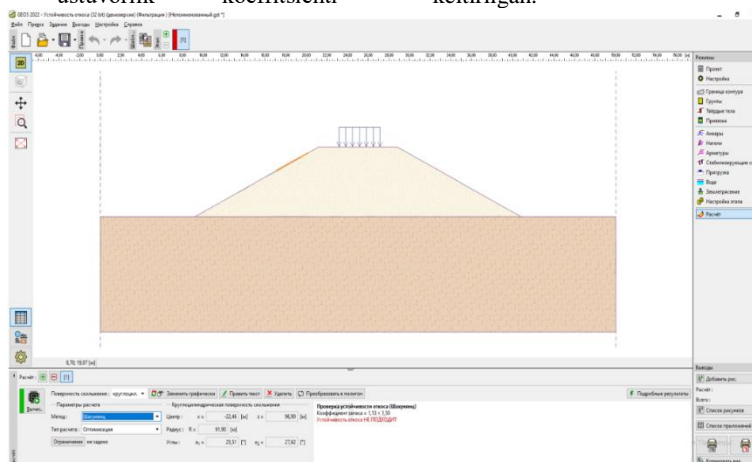


Hisob – kitoblar tahlili shuni ko'rsatadiki "Plaxis 2D" dasturiy ta'minoti yordamida ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik koeffitsienti mustahkamlanmagan holda  $K=1,16$ , geosintetik material bilan mustahkamlangan holda  $K=1,28$  ni tashkil etdi.

*Ikkinchi usul* – "Geo 5" dasturiy ta'minoti yordamida ko'tarma qiyaligi ustuvorlik koeffitsienti

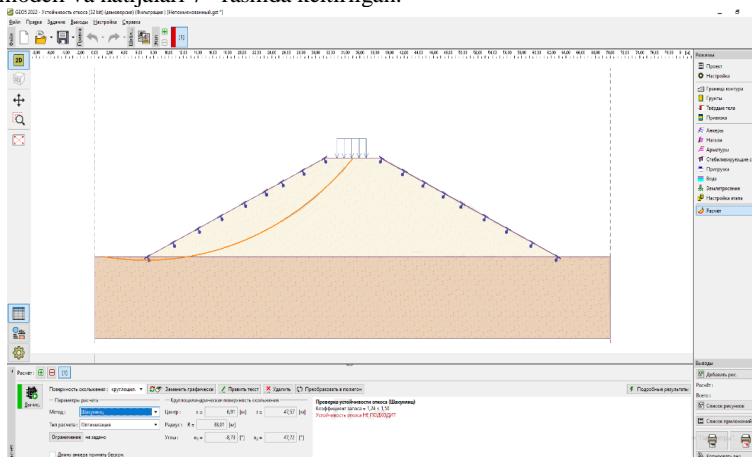
mustahkamlanmagan va geosintetik materiallar (geotekstil va xajmli geopanjar) bilan mustahkamlash orqali aniqlangan.

"Geo 5" dasturiy ta'minoti yordamida mustahkamlanmagan ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik koeffitsientini hisoblash modeli va natijalari 6 – rasmda keltirilgan.



6 – rasm. Mustahkamlanmagan ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik koeffitsientini hisoblash modeli va natijalari

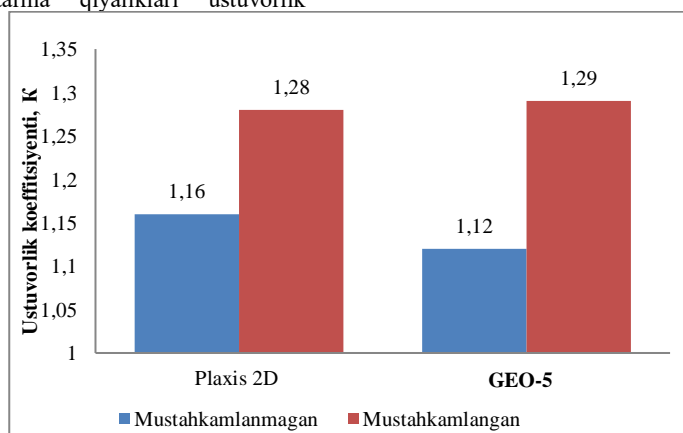
"Geo 5" dasturiy ta'minoti yordamida geosintetik materiallar bilan mustahkamlangan ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik koeffitsientini hisoblash modeli va natijalari 7– rasmda keltirilgan.



7 – rasm. Geosintetik materiallar bilan mustahkamlangan ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik koeffitsientini hisoblash modeli va natijalari

Geo 5" dasturiy ta'minoti yordamida bajarilgan hisob – kitoblar tahlili shuni ko'rsatadiki, mustahkamlanmagan mustahkamlanmagan ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik

koeffitsienti (6- rasm)  $K=1,13$  ni, geosintetik material bilan mustahkamlangan holda (7 – rasm)  $K=1,28$  ni tashkil etdi.



8 – rasm. «Plaxis 2D» va "Geo 5" dasturiy ta'minotlari yordamida ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik koeffitsientini hisoblash natijalari diagrammasi



«Plaxis 2D» va «Geo 5» dasturiy ta'minotlari yordamida ko'tarma qiyaliklari ustuvorlik ko'effitsientini hisoblash natijalari diagramma ko'rinishida 8 – rasmda keltirilgan.

### 3. Xulosa

1. Yer polotosi ko'tarmasi qiyaliklariga geosintetik materiallarni yotqizgan holda ko'tarma konstruksiyasi hisobi natijalari barxan qumlaridan barpo etilgan ko'tarma qiyaliklari mustahkamlash va uning ustuvorligini oshirish uchun geosintetik materiallarni qo'llash samaradorli deb hulosa qilishga imkon beradi.

2. «Plaxis 2D» va «GEO 5» dasturiy ta'minotlari yordamida mustahkamlanmagan va geosintetik material bilan mustahkamlangan ko'tarma qiyaligi ustuvorlik ko'effitsienti aniqlandi.

3. «Plaxis 2D» dasturiy ta'minoti yordamida ustuvorlik ko'effitsientini hisoblash natijalari bo'yicha ko'tarma qiyaliklari mustahkamlanmaganda  $K=1,16$  ni tashkil qildi, mustahkamlanganda esa me'yoriy qiymatlar  $K=1,29$  ga oshdi, «GEO 5» dasturiy ta'minoti yordamida mos ravishda  $K=1,13$  va  $K=1,28$  ni tashkil etdi.

4. «Plaxis 2D» dasturiy ta'minoti yordamida ko'tarma qiyaligi geosintetik materiallar bilan mustahkamlanganda poezdan tushadigan tashqi kuch ta'sirida tebranma harakatning vaqt birligi ichida ko'chishi, geosintetik materiallar bilan mustahkamlanmagan ko'tarmada ko'chishga nisbatan kamayishi aniqlandi.

### Foydalanilgan adabiyotlar / References

[1] Lesov K.S., Tadjibayev Sh.A. Qumli gruntlardan barpo qilingan temir yo'l yer polotnosi ustuvorligini oshirishda zamonaviy innovatsion texnologiyalarni qo'llash. «Arxitektura, qurilish va dizayn» ilmiy – amaliy jurnal Toshkent. TAQU. maxsus son №2 2023 y. 212-215 b.

[2] Lesov K.S., Kenjaliyev M.K., Mavlanov A.X., Tadjibaev Sh.A. Stability of the embankment of fine sand reinforced with geosintetic materials. E3S Web of Conferences 264, 02011 (2021) CONMECHYDRO-2021. Tashkent, Uzbekistan. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402011>

[3] Lesov K.S., Tadjibaev Sh., Kenjaliyev M.K. Технология укрепление откосов земляного полотна железных дорог из песчаных грунтов с применением геосинтетических материалов Проблемы архитектуры и строительства (научно-технический журнал. №4, 2019, Самарканд, СамГАСИ, С. 15-18.

[4] Lesov K.S., Kenjaliyev M.K., Tadjibaev Sh.A. Определение устойчивости насыпи

земляного полотна железных дорог возведенного из мелких песков. Международная научно-техническая конференция «Глобальное партнерство - как условие и гарантия устойчивого развития» II том. Ташкент, 21-23 ноября 2019. С. 248-252.

[5] Lesov K.S., Tadjibayev Sh.A. Matematik modellashirish orqali geosintetik materiallar bilan mustahkamlangan temir yo'l yer polotnosi qiyaliklarining ustuvorligini oshirish. «Me'morchilik va qurilish muammolari» ilmiy-texnik jurnal. Samarqand. SamDAQU, №3 2023 y. 79-82 b

[6] Закиров Р. С., Омаров А.Д. Противодеформационное укрепление земляного полотна из песчаного грунта в Казахстане. Алматы: «Гылым», 1999- 164 с.

[7] Жабко А. В. Теория расчета устойчивости откосов и оснований. анализ, характеристика и классификация существующих методов расчета устойчивости откосов // Известия Уральского государственного горного университета. Научно – технической журнал. Екатеринбург, 2015 г. №4 (40), С 45-57

[8] Маковский Е. Анализ моделей расчета устойчивости откосов земляного полотна // Жел. дороги мира. 1984. № 3. С. 66-78.

[9] Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь: учебник для вузов ж.-д. трансп. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.

[10] Математическое моделирование в строительстве. Учебно методическое пособие/ Сост. Иванова С.С. – Ижевск: Изд-во ИЖГТУ, 2012. – 100 с

[11] Соколова О.В. Подбор параметров грунтовых моделей в программном комплексе Plaxis 2D. Инженерно- строительный журнал., 2014г. №4, с 10-16.





[12] Шушканова С.Г., Кропачева Д.Д., Долгачев М.В. Применение методов математического моделирования при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Научный электронный журнал. «Вестник науки», №6 (75) том 3.

[13] Проект АО «BOSHTRANSLOYINA» «Вынос существующего железнодорожного участка Дунгулюк-Бургутли-Мискен с зоны затопления Шурбулакского водохранилища», 2019 г.

### Mualliflar to'g'risida ma'lumot / Information about authors

Sherzod Tadjibayev Toshkent davlat transport universiteti  
<https://orcid.org/0000-0001-9748-2568>

## Wear-resistant elastic composite materials working in difficult conditions

Samandarov H.O.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Ibadullaev A.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Vapaev M.D.<sup>2</sup><sup>c</sup>, Teshabaeva E.U.<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Tashkent University of Applied Sciences, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** This article presents the results of the study of the possibility of using cisilgium (GLEJ) of Angren deposit as a mineral filler in the production of elastomeric compositions. At the same time its physical and chemical properties and structural features, as well as methods of enrichment are studied. When studying the process of mixing rubbers with purified GLEJ, it is established increased rubbing and absorption in the matrix in comparison with the initial ones, which are characterized by lower values of the amplitude of torque oscillations. The studies have established that the introduction of GLEJ into the elastomeric composition increases the values of conditional stress at 100-300% elongation and tensile strength, compared to rubber containing commercially used fillers, as well as significantly increases the resistance of rubbers to tearing and wear. This is particularly pronounced at a content of 40-60 wt. hr. GLEJ per 100 wt.h. of rubber, i.e. tear resistance increases from 40.6 to 76.4 kN/m and wear from 0.4 to 0.86. As a result, the technology of cleaning of GLEJ from metal oxides is proposed. Sufficiently high degree of cleaning by the specified method is connected with the fact that in the process of temperature influence at 950 K iron ions from paramagnetic state (d-form of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pass to ferromagnetic (g-form of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). The feasibility and prospects of its use in the formulations of rubber mixtures for the production of various types of rubber products working in difficult conditions of railroad tracks, as well as in mechanical engineering.

**Keywords:** Wear resistance, elasticity, composition, metal oxides, elastomer, strength, ductility, tear, ferromagnet, paramagnet, rubber products, filler, hardness

## Износостойкие эластичные композиционные материалы работающие в сложных условиях

Самандаров Х.О.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Ибадуллаев А.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Вапаев М.Д.<sup>2</sup><sup>c</sup>, Тешабаева Э.У.<sup>1</sup><sup>d</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Ташкентский университет прикладных наук, Ташкент, Узбекистан


**Аннотация:** В данной статье приведены результаты исследования возможности применения кизилгия (ГЛЕЖ) Ангренского месторождения в качестве минерального наполнителя в производстве эластомерных композициях. При этом изучены его физико-химические свойства и структурные особенности, а также методы обогащения. При изучении процесса смешения каучуков с очищенным ГЛЕЖ, установлено повышенная втираемость и поглощение в матрице по сравнению с исходными, которые характеризуются меньшими значениями амплитуды колебаний крутящего момента. Исследованиями установлено, что введение ГЛЕЖ в эластомерную композицию повышает значения условного напряжения при 100-300%-ном удлинении и прочность при растяжении, по сравнению с резиной, содержащей серийно применяемые наполнители, а также значительно повышает сопротивление резин к раздиру и износу. Это особенно ярко проявляется при содержании 40-60 мас.ч. ГЛЕЖ на 100 мас.ч. каучуков, т.е. сопротивление к раздиру повышается от 40,6 до 76,4 кН/м а износ от 0,4 до 0,86. В результате предложена технология очистки ГЛЕЖ от оксидов металлов. Достаточно высокая степень очистки указанным способом связана с тем, что в процессе температурного воздействия при 950 К ионы железа из парамагнитного состояния (д-формы Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) переходят в ферромагнитную (г-форму Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Целесообразность и перспективность использования его в рецептурах резиновых смесей для производства различных типов резинотехнических изделий работающих в сложных условиях железнодорожных путей, а также в машиностроение.

**Ключевые слова:** Износостойкость, эластичность, композиция, оксиды металлов, эластомер, прочность, пластичность, раздир, ферромагнит, парамагнит, резинотехнические изделия, наполнитель, твердость


### 1. Введение

Одним из приоритетных направлений в развитии научно-технического прогресса в машиностроение является создание импортозамещающих материалов и

<sup>a</sup>  <https://orcid.org/0009-0001-1147-0281>

<sup>b</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-8089-2592>

<sup>c</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-2488-3744>

<sup>d</sup>  <https://orcid.org/0009-0002-0831-2749>



экспорт ориентированной технологии с рациональным и эффективным использованием сырьевых ресурсов Узбекистана [1-4]. В решении поставленных задач значительная роль отводится композиционным материалам, обладающим высокой прочностью, модулю упругости, твердостью, износостойкостью, тепло-морозостойкостью и целого ряда других практически важных свойств. Благодаря фундаментальным исследованиям ряда зарубежных и отечественных учёных в области химии и технологии композиционных материалов, достигнуты значительные успехи в создании композиционных материалов, на основе гибко-жесткоцепных полимеров, широким спектром свойств. Между тем, исследования в области создания физико-химических основ технологии получения эластомерных композиционных материалов, с использованием различной по природе и структуре ингредиентов, далеко не обоснованы [5-8]. Для этого требует принципиально нового подхода к созданию высококачественных ингредиентов, на базе сырьевых ресурсов, располагаемых Республикой, с учетом специфики их структуры и свойств. С расширением машиностроения и железнодорожных узлов значительно возрастает роль резинотехнических изделий различного назначения, способных к эксплуатации в жарких климатических условиях Средней Азии. Для решения проблем, связанных с дальнейшим развитием производства эластомерных композиционных материалов и создания конкурентоспособных изделий, прежде всего, необходимо разработать новые более эффективные технологии производства с рациональным использованием доступных и высококачественных сырьевых материалов с заданными требованиями на основе местных сырьевых ресурсов [9-10]. Разработка эффективных эластичных композиционных материалов и освоение новых технологических процессов с целью создания ресурсосберегающих технологий производства резинотехнических изделий машиностроительного назначения, представляет несомненно большой научно-практический интерес.

На основе вышеизложенного в данной статье приводятся результаты исследований по разработке износостойких резинотехнических изделий машиностроительного и железнодорожного назначения на основе местных сырьевых ресурсов.

## 2. Методология исследования

Исследовали композиции на основе комбинации каучуков СКИ-3(15%)+СКН-26(15%)+КС-30АРК (70%) Исследуемые резиновые смеси содержали наполнители 10 до 60 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Смеси изготавливали на лабораторных вальцах, а также в смесительной камере пластикордера Брабендер типа РИУ-151 объемом 75 см<sup>3</sup> при частоте вращения роторов 30 мин-1 и начальной температуре камеры 343±3К. Степень объемного заполнения камеры составляла 77%. Наполнители вводили в камеру после предварительной пластикации каучука в течение 3 мин. По полученным зависимостям крутящего момента  $M_{кр}$  от времени из пластограммы рассчитывали показатель обрабатываемости ( $\lambda$ ). Степень пластикации смеси  $M_{макс}/M_{мин}$ , относительное возрастание максимального крутящего момента при введении наполнителя  $M_{отн}$ ,

условную скорость пластикации  $V_{пл}$  и максимальное значение температуры в смесительной камере  $T_{макс}$ . Шприцуемость резиновых смесей изучали с помощью приставки, используя фильеры  $d=3$  мм и мундштук «Гарвей». Образцы шприцевали при частоте вращения шнека 20-120 мин<sup>-1</sup> и температуре 293-363 К. Пластоэластические свойства резиновых смесей определяли по ГОСТ 1020-95—жесткость ЖД и эластическое восстановление ЭД по Дефо; по ГОСТ 10722-94—вязкость по  $M_{унн}$  (МЛ-4-373 К). Физико-механические свойства вулканизатов определяли соответствующими ГОСТами.

## 3. Результаты исследования

На основе анализа данных многочисленных исследований и экспериментальных результатов установлено, что основные физико-механические показатели композиционных эластомерных материалов повышают минеральные наполнители. Поэтому исследовали возможности применения кизилгия (ГЛЕЖ) Ангренского месторождения в качестве минерального наполнителя. Однако его без предварительных обработок и соответствующих химических модификаций не могут быть использованы в производстве резинотехнических изделий. Так, как он содержит до 5,7 % оксида железа до 30 % воды, которые отрицательно влияют на технологические и физико-механические свойства эластомерных композиций и изделий из них. А основным требованием, предъявляемым к наполнителям, является, их содержание не более 0,3%. После электромагнитной сепарации и сушки при 373-426 К содержание оксидов металлов уменьшается лишь до 3,2 %, а количество связанной воды уменьшается до 15 % [11-14]. Для повышения магнитной восприимчивости слабомагнитных оксидов металлов (в основном  $Fe_2O_3$ ) и удаления связанной воды в составе ГЛЕЖ, был применен метод озонирования ( $O_3$ ). Обработка ГЛЕЖ проводилась в течение различного времени и температурах, затем осуществлялась очистка на электромагнитном сепараторе.

**Таблица 1**  
**Влияние времени и озонной обработки на степень очистки ГЛЕЖ от оксидов металлов**

Содержание оксидов металлов, %						
До электромагнитной очистки	После электромагнитной	Температура обработки, °С	Время термообработки, мин			
			10	20	30	40
5,7	3,22	800-950	2,25	0,20	0,19	0,19

Из данных таблицы 1 видно, что для достижения более высокой степени очистки ГЛЕЖ, следует подвергать предварительную электромагнитную сепарацию с последующим озонированием при  $T=800-950$  °С в течении 20 минут и электромагнитной очистке. Достаточно высокая степень очистки указанным способом связана с тем, что в процессе воздействия озона при 800 °С ионы железа из парамагнитного состояния (д-формы  $Fe_2O_3$ ) переходят в ферромагнитную (г-форму  $Fe_3O_4$ ).



Деривотографические исследования также показали, для глубокого обезжизнения ГЛЕЖ достаточно термическая обработка при температурах  $T=700-850^{\circ}\text{C}$ . Исследования показали, что при термообработке ГЛЕЖ, также имеет место структурные изменения, увеличения маслосмекости и удельной геометрической поверхности. С помощью метода ЭПР было установлено повышение концентрации свободных радикалов, свидетельствующих об образовании парамагнитных центров в исследуемых образцах (Таблица 2).

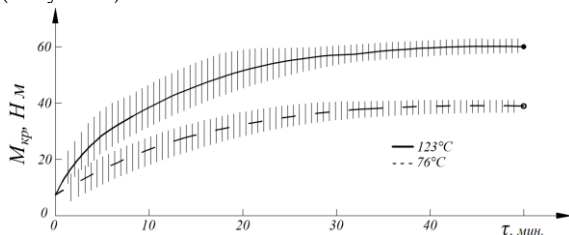
Таблица 2

**Удельной геометрической поверхности и маслосмекости ГЛЕЖ до и после термообработки, в течение 20 минут**

Наименование показателей	До термообработки	После термообработки
$S_{уд}, \text{м}^2/\text{г}$	18,3	22,2
Маслоёмкость мл/100г		
Льняное масло	20,1	25,5
Вазелиновое масло	18,3	28,1
ДБФ	17,1	23,3

Обнаружено также существенное отличие исходного и очищенного ГЛЕЖ по диспергируемости и распределению частиц в эластомерной матрице. Лучшая диспергируемость и, соответственно, наибольшая степень равномерности распределения частиц наполнителя характерно для резиновых смесей, наполненных очищенном ГЛЕЖ.

Состав, структура и свойства минеральных наполнителей существенно влияют на основные технологические и физико-механические свойства эластомерных композиций на основе комбинации различных типов каучуков. При изучении процесса смешения каучуков с очищенным ГЛЕЖ, установлено повышенная втираемость и поглощение в матрице по сравнению с исходными, которые характеризуются меньшими значениями амплитуды колебаний крутящего момента (Рисунок 1).



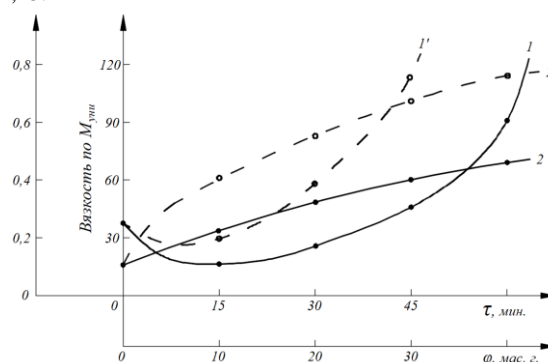
**Рис. 1. Кинетика изменения крутящего момента ( $M_{кр}$ ) в процессе смешения 40 мас.ч. каолина (—), ГЛЕЖ (---) на 15 мас.ч., СКИ-3+15 мас.ч., СКН-26+70 мас.ч., СКС-30АРК**

Это, в свою очередь приводит к лучшей обрабатываемости и пластицируемости резиновых смесей и обусловлено физико-химическими, структурными особенностями ГЛЕЖ. В пользу высказанного предположения указывается уменьшение времени и температуры смешения эластомерных композиций.

Выяснено, что с увеличением содержания ГЛЕЖ в каучуке значительно уменьшается восстанавливаемость резиновой смеси после деформирования. При этом способность системы к накоплению энергии эластической деформации, т.е. разбухания экстрадута

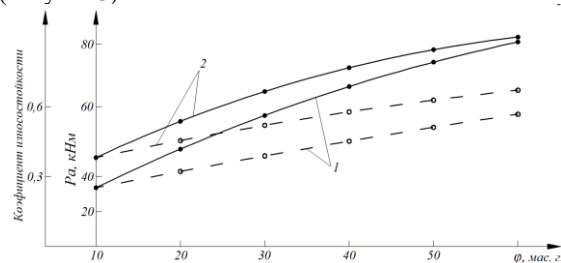
( $P_2$ ), в значительной степени зависит от удельной геометрической поверхности ( $S_{уд}$ ) ГЛЕЖ.

Пласто-эластические свойства наполненных резиновых смесей с ГЛЕЖ показали, что по своим технологическим показателям, практически не отличаются от серийно применяемых минеральных наполнителей. Однако, при высоких степенях (более 30 мас.ч. на 100 мас.ч.) наполнения каучуков необходимо будет учитывать его удельную поверхность и структурные особенности, которая способствует к более значительному увеличению эффективной вязкости и конфекционную клейкость резиновых смесей (Рисунок 2). Например, при наполнении 50 мас.ч. комбинации каучуков СКИ-3, СКС-30АРК и СКН-26 ГЛЕЖом конфекционная клейкость резиновых смесей составляет 2,15.



**Рис. 2. Зависимость вязкости по  $M_{унн}$  (1,1') и коэффициента клейкости (2,2') резиновых смесей на основе 15% СКИ-3+15% СКН-26+70 СКМС-30 АРК (содержание каолина (2) и ГЛЕЖ (2') 40 мас.ч. на 100 мас.ч. каучуков)**

С целью выявления влияния ГЛЕЖ на технические свойства вулканизатов, подробно были рассмотрены упруго-прочностные свойства наполненных композиционных эластомерных материалов [15-17]. Исследованиями установлено, что введение ГЛЕЖ в эластомерную композицию повышает значения условного напряжения при 100-300%-ном удлинении и прочность при растяжении, по сравнению с резиной, содержащей серийно применяемые наполнители, а также значительно повышает сопротивление резин к раздиру и износу. Это особенно ярко проявляется при содержании 40-60 мас.ч. ГЛЕЖ на 100 мас.ч. каучуков, т.е. сопротивление к раздиру повышается от 40,6 до 76,4 кН/м а износ от 0,4 до 0,86 (Рисунок 3).



**Рис. 3. Зависимость влияния содержание ГЛЕЖ (—) и каолина (---) на разрывное прочност и износостойкость резины на основе 15% СКИ-3, 15% СКН-26+ СКМС-30 АРК**

Изучение влияния ГЛЕЖ на динамические свойства вулканизатов при многократном сжатии показало, что



при введении его в состав композиций наблюдается уменьшение теплообразования и остаточной деформации, а также увеличение динамической выносливости резин при многократном растяжении ( $N_{рас}$ ). В предложенных композициях  $N_{рас}$  проходит через максимум и его наибольшее значение наблюдается при содержании 40-60 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука.

#### 4. Заключение

Предложена технология очистки ГЛЕЖ от оксидов металлов. Достаточно высокая степень очистки указанным способом связана с тем, что в процессе температурного воздействия при 950 К ионы железа из парамагнитного состояния (д-формы  $Fe_2O_3$ ) переходят в ферромагнитную (г-форму  $Fe_3O_4$ ). Целесообразность и перспективность использования его в рецептурах резиновых смесей для производства различных типов резинотехнических изделий работающих в сложных условиях железнодорожных путей, а также в машиностроение.

#### Использованная литература / References

- [1] Применение резиновых технических изделий в народном хозяйстве. Справочное пособие. Москва, 1996, Химия, пп. 378.
- [2] Наполнители для полимерных композиционных материалов, Под ред. Г.С.Катса и Д.Б.Милевского. Москва, 1991, Химия, пп. 736.
- [3] Усиление эластомеров. Под ред. Дж. Крауса. Москва, 1968, Химия, пп. 216.
- [4] Востракнутов Е.Г., Новиков М.И., Новиков В.И. Переработка каучуков и резиновых смесей (реологические основы технология, оборудование), Москва, 1990, Химия, пп. 280.
- [5] Кузминский А.С., Кавун С.М., Кирпичевский В.П. Физико-химические основы получения, переработки и применения эластомеров. Москва, 1996, Химия, пп. 388.
- [6] В. Гоффман. Вулканизация и вулканизирующие агенты. Москва, 1988, Химия, пп. 465.
- [7] Ибадуллаев А., Юсупбеков А.Х., Уралский И.Л., Горелик Р.А. Использование волластонита в качестве наполнителя в резиновых смесях. Каучук и резина. 1984, no. 8, pp. 20-22.
- [8] Ибадуллаев А., Негматов С.С., Хайдаров И.Ю., Тешабаева Э.У. Влияние дисперсных наполнителей на вязкоупругие свойства не вулканизированных эластомеров. «Композиционные материалы». 2003, no. 2, pp. 5-7.
- [9] Негматов С.С., Лысенко А.М., Ибадуллаев А. К вопросу решения проблем по разработке технологии получения тонкодисперсных ингредиентов из местного минерального сырья для электротехнической, резинотехнической и других отраслей промышленности. Композиционные материалы, 2003. no 2. pp. 43-44.

[10] Ibadullayev A., Muftullaeva M.B. Study of adsorption properties of montmorillonite of Karakalpakstan // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, 2019., no. 7-8, pp. 57-63.

[11] Ibadullayev A., Muftullaeva M.B. Study of physico-chemical properties of montmorillonite of Karakalpakstan // Science and education in Karakalpakstan. Nukus, 2019, no 4, pp. 10-14.

[12] Тешабаева Э.У., Ибадуллаев А., Жураев В.Н. Создание и применение ингредиентов на основе местных сырьевых ресурсов и отходов производств в эластомерных композиционных материалах// Ж Химия и химическая технология, 2016, пп. 66-71.

[13] Негматов С.С., Тешабаева Э.У., Ибадуллаев У., Таджибаева Г.С., Носирова Л.Т. Исследование влияния кизилгия на кинетику вулканизации резиновых смесей на основе каучуков общего и специального назначения, Ж. Композиционные материалы, 2004, no. 4, pp. 45.

[14] Ибадуллаев А., М.Б.Муфтуллаева Изучение влияния монтмориллонита Каракалпакстана на технологические свойства эластомерных композиций, Композиционные материалы, Научно-технический и практический журнал, 2019, no. 3, pp.8-14.

[15] Негматов С.С., Ибадуллаев А. Исследование и разработка путей усовершенствования основных стадий технологии получения тонкодисперсных высокоэффективных ингредиентов на основе местного сырья. Ж. «Композиционные материалы». 2003, no. 1, pp. 53-54.

[16] Ибадуллаев А., Таджибаева Г.С., Тешабаева Э.У., Негматов С.С. Исследование технологических свойств эластомерных композиций, наполненных кизилгия. Композиционные материалы, 2004, no. 1, pp. 62.

[17] Ибадуллаев А., Тешабаева Э.У., Сейдабдуллаев Я. Исследование свойств эластомерных композиций на основе комбинации каучуков СКИ-3+ СКМС-30АРК наполненных бентонитом. Композиционные материалы, Ташкент, 2016, no. 2, pp. 34-38

#### Информация об авторах/ Information about the authors

<b>Самандаров Х.О.</b>	Инженерия железных дорог, Ташкентский государственный транспортный университет E-mail: <a href="mailto:xushnudbek6600@mail.ru">xushnudbek6600@mail.ru</a>
<b>Ибадуллаев А.</b>	Инженерные коммуникации и системы, Ташкентский государственный транспортный университет E-mail: <a href="mailto:ibadullayev1957@bk.ru">ibadullayev1957@bk.ru</a>
<b>Вапаев М.Д.</b>	Ташкентский университет прикладных наук, Ташкент E-mail: <a href="mailto:murodjon.vapayev@mail.ru">murodjon.vapayev@mail.ru</a>
<b>Тешабаева Э.У.</b>	Естественные науки, Ташкентский государственный транспортный университет E-mail: <a href="mailto:elmira-teshaboyeva@mail.ru">elmira-teshaboyeva@mail.ru</a>

### ***1 section. Resource- and energy-saving construction materials and technologies***

***A. Adylkhodjayev, I. Kadyrov, O. Tukhtasinov, H. Sadykova***

*Study of Porous Structure of Concrete on the Basic of Polyfunctional Additive and Low-Active Mineral Filler.....7*

***Kh. Akramov, Sh. Rakhimov***

*Properties of fine-grained concrete from raw materials of our Republic.....10*

***I. Makhamataliev, R. Muminov, Sh. Uzakov***

*Optimization of the composition of fine-grained concrete reinforced with polypropylene fiber .....14*

***V. Soy, G. Nuriddinova***

*Critical analysis of modern technologies and formulations of non-autoclaved aerated concrete for production conditions in the Republic of Uzbekistan .....18*

***N. Takhirzhanov, A. Ismaylova***

*Vermiculite-based energy-saving concretes: experimental study of strength.....22*

***R. Auezbaev, P. Lepasbaeva***

*Structure of ceramic fragments with vermiculite additives in various forming methods.....27*

***M. Musazhonov, A. Ibadullaev, U. Chorshanbiev***

*Study of polymer compositions for pipe washing on the hydraulic transport of dispersed systems.....33*

***N.V. Drobchenko***

*The use of energy-efficient and environmentally friendly materials in modern construction.....37*

***G. Moskvitin, V. Arkhipov, M. Pugachev***

*Production of non-corrosive coatings based on copper and zinc by gas-dynamic method .....42*

***M. Mekhmonov***

*Theoretical and experimental studies of embankment reinforcement in the area where the railway roadbed meets the bridge.....48*

***V. Soy, U. Shermukhamedov, N. Mukhammadiev, Vang Meng, Zhao Yue***

*Fine-grained basalt-fiber concrete for reinforced concrete structures of formwork-free production .....52*

<b>V. Soy, N. Mukhammadiev, G. Malikov, G. Tianyu</b> <i>Development of a fine-grained basalt fiber concrete composition for the carriageway structures of reinforced concrete highway bridges.</i>	56
<b>Z. Kakharov, R. Ashimov</b> <i>Energy analysis of concrete setting process.</i>	59
<b>A. Nazibekov</b> <i>Application of geopolymer concrete.</i>	62
<b>Z. Sattorov, N. Madraimov</b> <i>Experimental test methods for the properties of building materials based on class "f" and "c" ash from a thermal power plant</i>	65
<b>I. Makhamataliev, A. Karabaev, S. Avabde</b> <i>On the new classification of mineral fillers used in asphalt concrete technology</i>	69
<b>U. Turgunbaev, N. Sunnatillaeva</b> <i>Preparation of polymer cement adhesive (PCA) by dry construction mixtures technology (DCT)</i>	76
<b>S. Abdieva, U. Abdullaev</b> <i>High quality composite concrete binders with improved performance</i>	81
<b>D. Abdullayeva, Sh. Sabirova</b> <i>Study of the influence of the specific surface of river aggregate on the structure formation of non-autoclaved aerated concrete.</i>	85
<b>V. Soy, D. Abdullayeva, G. Nuriddinova</b> <i>Methodological basis for the use of additives for the production of complex modified cement binders</i>	89
<b>U. Abdullayev</b> <i>Mechanical activation of limestone and study of its granulometric composition.</i>	94
<b>J. Turgunbaeva, I. Makhamataliyev, I. Kuznetsova</b> <i>Prospects for the use of artificial intelligence capabilities in the production of gypsum-concrete tongue-and-groove boards</i>	99
<b>A. Alinazarov, A. Tukhtabaev, S. Adasheva</b> <i>Thermophysical properties of multicomponent building materials during heat and moisture treatment using solar energy</i>	104
<b>R. Narov, N. Rakhimova</b> <i>The effect of a complex additive on the homogeneity of cast concrete</i>	107



**B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandakhorov**

*Evaluation of spatial-structural properties and thermal technical indicators of autoclave-free aerated concrete produced from industrial waste.....112*

**B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandakhorov**

*Analysis of technological properties of heat-insulating aerated concrete.....118*

## **2 section. Building structures of buildings and constructions, modern methods of calculation and design**

**L. Bocharova, K. Muhammadsoliye**

*Study of the efficiency of using thin-walled structures in industrial building covering .....123*

**A. Kholmurodov**

*Effective steel structures for industrial buildings.....127*

**Kh. Akramov, J. Tokhirov, H. Samadov**

*Experimental investigation of load-bearing capacity of three-layer panels with insulation layer based on rice crete.....131*

**A. Abdusattarov**

*Models of deformation of main pipelines under repeated-variable loading considering material damageability.....135*

**G. Fridman, Sh. Turakulova**

*Calculation of a steel prestressed truss with a span of 60 m, taking into account seismic impacts.....139*

**Kh. Umarov, Yu. Tursinaliyeva**

*Geotechnical risk assessment and monitoring of the railway tunnel on the Angren - Pop section.....144*

**N. Khudayberdiyev, S. Khudaykulov**

*Calculations of seismic loads of the Rezaksai Reservoir.....148*

**S. Razzakov, D. Berdakov**

*Calculation of joints of bending wooden structural elements in ANSYS Workbench.....152*

**A. Abdujabarov, P. Begmatov, G. Khalfin**

*The use of armogrun structures to strengthen the railway roadbed.....157*

**G. Khalfin**

*A method for calculating the stability of a jointless track using the compression ratio of intermediate rail fasteners Pandrol Fastclip..159*

**A. Bondarenko, K. Lesov, T. Salakhov, M. Kenjaliev**

*Modelling of longitudinal forces in a rail track to assess the stability of a track without joints.....162*

**B. Rakhmanov, S. Razzakov**

*Deformation characteristics of polypropylene thread (p-1) for synthetic slings.....166*

**D. Sharipova, N. Rakhimova**

*Modeling of unsteady heat transfer processes in combined coatings.....171*

**3 section. Architecture and Urban Planning****E. Shchipacheva, N. Umarova**

*Innovative approaches to architectural design of youth centers in the era of information society.....177*

**S. Shaumarov, D. Nurmukhamedova**

*Modern approaches to designing student dormitories: energy efficiency, functionality, and social environment.....185*

**K. Markabaeva**

*Digital technologies in urban planning: a development vector for Uzbekistan.....192*

**E. Urazkhanova**

*Energy efficiency of buildings: world experience and prospects for Uzbekistan.....196*

**Y. Turdibekov**

*Smart city: problems and solutions.....201*

**N. Yuling, G. Liubou**

*Transport route efficiency optimization: a new perspective integrating sustainable development and economic benefits.....206*

**4 section. Improvement of modern engineering education system****K. Makhsimov, A. Marupov**

*Innovative approaches to teaching the “geotechnics” course for future civil engineers.....211*

**G. Khalfin***Innovative development of the engineering education system.....214***E. Shchipacheva, R. Pirmatov***About improving the system of personnel training for construction industry.....216***A. Abdusattarov, E. Starovoitov***Elastic-plastic bending of three-layer rods under single and variable loading, taking into account damage and temperature effects.....219***Sh. Tadjibayev***Mathematical modeling using software to determine the stability of railway track slopes in sandy soils.....225***H. Samandarov, A. Ibadullaev, M. Vapaev, E. Teshabaeva***Wear-resistant elastic composite materials working in difficult conditions.....230*