

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

№4 (2)

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

2026
APREL



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 - Texnika fanlari

08.00.00 - Iqtisodiyot fanlar



Google Scholar

OPEN ACCESS

ULRICHSWEB[™]
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Academic
Resource
Index
ResearchBib

ISSN INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

CYBERLENINKA

OpenAIRE

ROAD

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

BASE

Crossref

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ



muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, aprel.

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afrovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
05.01.07 – Matematik modellashtirish
05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)
05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
08.00.02 – Makroiqtisodiyot
08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
08.00.06 – Ekonometrika va statistika
08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
08.00.11 – Marketing
08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
08.00.13 – Menejment
08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK
Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

BYUDJET SUBYEKTLARI ISHTIROKINI QISQARTIRISH ASOSIDA KREDIT RISKINI BOSHQARISH SAMARADORLIGINI OSHIRISH.....	16
PhD. Mahmudov Rahimjon Hamid o'g'li	
MINTAQA IQTISODIYOTI TARMOQLARINI KLASTERLASHTIRISH SALOHIYATINI RIVOJLANTIRISHNI TAKOMILLASHTIRISHNING EMPIRIK MODEL: STATISTIK VA EKONOMETRIK TAHLIL.....	25
Ollokulova Feruza Mansurovna, Abdurahmonov Abdulaziz Maxmudovich	
XO'JALIK YURITUVCHI SUBYEKTLARDA PUL OQIMLARI AUDITINI TAKOMILLASHTIRISHNING ZAMONAVIY MEXANIZMLARI.....	30
Atamurodov Saidmurad Yaxyoyevich, Sindarova Aziza Musurmon qizi	
TIJORAT BANKLARIDA KREDIT RISKLARINI BOSHQARISHNI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH.....	42
Xasanov Sardor Xazratkulovich	
IQTISODIY O'SISH SIFATI VA UNI KO'RSATKICHLARINING KONSEPTUAL ASOSLARI.....	50
Axmedov Xasanjon Muxamadovich	
IQTISODIY O'SISH SIFATI VA UNI KO'RSATKICHLARINING KONSEPTUAL ASOSLARI.....	55
Axmedov Xasanjon Muxamadovich	
ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING KORXONALAR RENTABELLIGIGA TA'SIRI.....	60
Hayitov Jamshid Xolboyevich	
KREDITLASH MEXANIZMINING ILMIY-NAZARIY ASOSLARI VA UNING TARIXIY RIVOJLANISH BOSQICHLARI.....	65
Ortiqov Husan Usmonaliyevich	
DAVLAT SEKTORIDA ICHKI AUDIT FAOLIYATINI TAKOMILLASHTIRISH.....	70
Xamidova Zarifa Urol qizi	
ISTE'MOL NARXLARI INDEKSINI MODELLASHTIRISH VA PROGNOZLASHNI TAKOMILLASHTIRISH YO'NALISHLARI.....	74
Ismailova Shaxnoza Uktamovna	
XIZMATLAR SEKTORI RIVOJLANISHINING KAMBAG'ALLIKKA TA'SIRINI BAHOLASH METODOLOGIYASI VA KO'RSATKICHLAR TIZIMI.....	77
Dawletmuratov Adilbay Mirzaboyevich	
BIZNES JARAYONLARINI MONITORING QILISH TIZIMINING HOZIRGI HOLATI TAHLILI.....	84
Dadajonova Madina Ravshan qizi	
ISTE'MOL NARXLARI INDEKSINI MODELLASHTIRISH VA PROGNOZLASHNI TAKOMILLASHTIRISH YO'NALISHLARI.....	89
Ismailova Shaxnoza Uktamovna	
MINTAQA IQTISODIYOTI TARMOQLARINI KLASTERLASHTIRISH SALOHIYATINI RIVOJLANTIRISHNI TAKOMILLASHTIRISHNING EMPIRIK MODEL: STATISTIK VA EKONOMETRIK TAHLIL.....	94
Ollokulova Feruza Mansurovna, Abdurahmonov Abdulaziz	
ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING KORXONALAR RENTABELLIGIGA TA'SIRI.....	100
Hayitov Jamshid Xolboyevich	
IMPROVING THE EFFICIENCY OF BANKS' GREEN FINANCING IN UZBEKISTAN AND KAZAKHSTAN.....	105
Maxmudov Rahimjon	
MAHALLIY BUDJETLAR MUSTAQILLIGINI TAKOMILLASHTIRISH VA YANADA OSHIRISH.....	109
Abduraxmonova Gulmira	
RAQAMLI IQTISODIYOT SHAROITIDA MOLIVAVIY HISOBOTLARNI SHAKLLANTIRISH: MUAMMOLAR VA YECHIMLAR.....	114
Teshabayev Dilmurod Boxodir o'g'li	



FARG 'ONA VILOYATINING INNOVATSION RIVOJLANISHI.....	120
Tuychieva Odina Nabiyevena	
INDICATORS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE "GREEN" ECONOMY.....	131
Mirzaev Kulmamat Djanzakovich	
KREDITLASH MEXANIZMINING ILMIY-NAZARIY ASOSLARI VA UNING TARIXIY RIVOJLANISH BOSQICH LARI.....	140
Ortiqov Husan Usmonaliyevich	
KORPORATIV BOSHQARUVNING XALQARO TAJRIBASI VA UNING QIYOSIY TAHLILI.....	144
Shakirova Gulbaxor Sharipdjanovna	
TIJORAT BANKLARIDA KREDIT RISKLARINI BOSHQARISHNI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR VA SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH.....	149
Xasanov Sardor Xazratkulovich	
IQTISODIY XAVFSIZLIKNING INSTITUSIONAL ASOSLARINI TAKOMILLASHTIRISHNING XORIJ DAVLATLAR TAJRIBASI.....	156
Odinayev Ravzatullo Asatulloevich	
KICHIK BIZNES SUBYEKTLARINING MOLIVAVIY XAVFSIZLIGINI TA'MINLASH MEXANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISH.....	161
Karimov Alibek Valievich	
RAQAMLI IQTISODIYOT SHAROITIDA FRANCHAYZING TIZIMINI RIVOJLANTIRISHDA PLATFORMA MODELLARI VA ULARNING SAMARADORLIGINI BAHOLASH.....	167
Xodjaye Anvar Rasulovich, Nasimov Dilshodbek Hotam o'g'li	
"O'ZBEKISTON GTL" MAHSULOTLARINING FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI VA ULARNI KOMPOUDIRLASH ASOSIDA EKOLOGIK TOZA YOQILG'ILAR OLISH ISTIQBOLLARI.....	173
Ro'ziyev Aliakbar, Hayitov Ruslan, Mavlonov Shohrux	
HUDUDIY MEHNAT BANDLIGINI TA'MINLASHDA AVTOSERVIS KORXONALARINING ROLI.....	179
Marqayev Xurshid Aliqulovich	
ASOSIY VOSITALAR AUDITINI TAKOMILLASHTIRISH.....	183
Zaripova Sayohat Zafarovna	
XIZMATLAR SOHASINI BOSHQARISHDAGI MUAMMOLAR VA YECHIMLAR: AGROTURIZM VA RAQAMLI XIZMATLAR ASOSIDA TAHLIL (ANDIJON VILOYATI MISOLIDA).....	188
Oktamjonova Gulira'no Ikromjon qizi	
BUXORO VILOYATI UY XO'JALIKLARI HAYOT SIFATI VA IJTIMOIIY-IQTISODIY AHVOLI: SO'ROVNOMA NATIJALARI TAHLILI.....	192
Nizomov Asliddin, Musulmonova Shahlo, Izzatullayeva Ma'mura	
DIRECTIONS FOR TOURISM DEVELOPMENT IN UZBEKISTAN BASED ON DIGITAL TECHNOLOGIES..	199
Mirzaev Kulmamat Djanzakovich	
QORA METALLURGIYA SANOATI VA ULARNING ISHLATILISHI.....	203
Sarimsakov Alisher Ubaydullaevich	
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASIDA AHOLI BANDLIGINING IQTISODIY-STATISTIK TAHLILI.....	209
Yusupov Farhod Adamboyevich	
TASVIRLARDAN YO'L BELGILARINI TANIB OLISH ALGORITMLARI VA DASTURIY VOSITASINI ISHLAB CHIQUISH.....	214
Toyirov Akbar Xasanovich, Yuldoshov Abdurahmon Baxtiyorovich	
OLIY TA'LIMNI MOLIVALASHTIRISHNING ILG'OR XORIJIY TAJRIBASI: SINGAPUR MISOLIDA.....	218
Kurbanov Baxodir Negmatullayevich	



MA'LUMOTLARGA ASOSLANGAN TURIZM BOSHQARUVI: O'ZBEKISTONDA RAQAMLI TRANSFORMATSIYA JARAYONLARI.....	222
Ashurova Shaxnoza Almasovna	
DAVLAT XARIDLARI BO'YICHA BYUDJET MABLAG'LARIDAN FOYDALANISH SAMARADORLIGINI ICHKI AUDITNING ANALITIK KO'RSATKICHLARI ASOSIDA BAHOLASH.....	226
Meliboyev Askar Eshmuratovich	
ГЛИНИСТЫЕ СЛАНЦЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА КАК СЫРЬЕВАЯ СМЕСЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА.....	231
Карабаев А.М., Абдуллаева Д.Ф., Абдуллаев У.Х. Андакулова Н.Н.	
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	237
Садиков Жахонгир Носирджанович, Даулетмуратова Дилбар Калмуқанмед кизи	
РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА ПОСЛЕ ЗАЛИВКИ.....	243
Мирджуроев Сарвар Алишер угли	
MAHALLIY BUDJET DAROMADLARINI SHAKLLANTIRISHDA YASHIRIN IQTISODIYOTNING TA'SIRI ..	246
Isoqov Zafarjon Zokirjonovich	
AGROKLASTERLAR SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING EKONOMETRIK MODELLARI	250
O'rinboev Ulug'bek Otabekovich	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ И ВЛАГОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНОГО ВЯЖУЩЕГО	259
Тургунбаев Уринбек, Шарипова Дилафруз, Худойбердиев Жамшид	



ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ И ВЛАГОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНОГО ВЯЖУЩЕГО



Тургунбаев Уринбек Жамолович

Ташкентский государственный транспортный университет
Профессор (к.т.н.) кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений»

ORCID: 0009-0002-5945-2565

Шарипова Дилафруз Тоуфуковна

Ташкентский государственный транспортный университет
Доцент (PhD) кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений»

ORCID: 0000-0002-5297-1736

Худойбердиев Жамшид Зиятович

Докторант Ташкентского государственного транспортного университета

ORCID: 0000-0004-5367-1836

Аннотация: В статье исследуется влияние типа минерального наполнителя (микрокремнезем, цеолит, известняк) на формирование пористой структуры и эксплуатационные свойства композитного камня. На основе испытаний по ГОСТ 12730.3-78 установлено, что использование известняка обеспечивает наиболее плотную структуру (до 1890 кг/м³) с высокой однородностью пор (α до 1,00) и минимальным водопоглощением (19,2%). При этом выявлено, что по критерию водостойкости оптимальным является применение цеолита: составы на его основе демонстрируют максимальный коэффициент размягчения (0,79), что на 16–22% выше показателей карбонатных систем. Математическая обработка данных позволила получить линейные уравнения регрессии, описывающие зависимость водопоглощения от концентрации цемента, что дает возможность прогнозировать свойства композитов и обоснованно выбирать наполнитель в зависимости от условий эксплуатации материала.

Ключевые слова: композитный камень, смешанное вяжущее, тонкодисперсные наполнители, водопоглощение, пористая структура, известняк, микрокремнезем, цеолит, уравнения регрессии.

Annotatsiya: Maqolada mineral to'ldiruvchi (mikrokremnezem, seolit, ohaktosh) turining kompozit toshning g'ovakli tuzilishini shakllantirish va ekspluatatsion xususiyatlariga ta'siri o'rganilgan. GOST 12730.3-78 bo'yicha sinovlar asosida shular aniqlandiki, ohaktoshdan foydalanish g'ovaklarning yuqori bir xilligi (α 1,00 gacha) va minimal suv shimuvchanligi (19,2%) bilan eng zich tuzilishni (1890 kg/m³ gacha) ta'minlaydi. Shu bilan birga, suvga chidamlilik mezoni bo'yicha seolitdan foydalanish maqbul ekanligi aniqlandi: uning asosidagi tarkiblar maksimal yumshatish koeffitsiyentini (0,79) ko'rsatadi, bu karbonat tizimlarining ko'rsatkichlaridan 16-22% ga yuqori. Ma'lumotlarni matematik qayta ishlash suv shimuvchanlikning sement konsentratsiyasiga bog'liqligini tavsiflovchi chiziqli regressiya tenglamalarini olish imkonini berdi, bu kompozitlarning xususiyatlarini bashorat qilish va materialning ishlash sharoitlariga qarab to'ldiruvchini asosli tanlash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: kompozit tosh, aralash bog'lovchi, nozik dispersli to'ldiruvchilar, suv yutilishi, g'ovak tuzilma, ohaktosh, mikroremniy, zeolit, regressiya tenglamalari.

Abstract: The article investigates the influence of the mineral filler type (microsilica, zeolite, limestone) on the formation of the pore structure and performance properties of composite stone. Based on tests conducted in accordance with GOST 12730.3-78, it was established that the use of limestone provides the densest structure (up to 1890 kg/m³) with high pore uniformity (α up to 1.00) and minimum water absorption (19.2%). At the same time, it was found that zeolite is optimal in terms of water resistance: zeolite-based compositions demonstrate the maximum softening coefficient (0.79), which is 16–22% higher than that of carbonate systems. Mathematical data processing yielded linear regression equations describing the dependence of water absorption on cement concentration, enabling the prediction of composite properties and the justified selection of filler based on operating conditions.

Keywords: composite stone, blended binder, fine-dispersed fillers, water absorption, porous structure, limestone, microsilica, zeolite, regression equations.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка современных строительных композитов на основе смешанных вяжущих требует детального изучения их эксплуатационных характеристик, среди которых водопоглощение играет ключевую роль, напрямую влияя на долговечность и морозостойкость материала. Пористая структура композитного камня формируется под воздействием множества факторов, определяющим из которых является взаимодействие цементного клинкера с тонкодисперсными наполнителями (ТДН) различной минеральной природы. Это изучено в исследованиях В.И. Корнеева и Л.А. Крашенинниковой [1].

Несмотря на широкое применение активных минеральных добавок, таких как микрокремнезем и цеолит, их влияние на кинетику влагопоглощения в системах с пониженным содержанием цемента изучено недостаточно. Особый интерес представляет сравнительный анализ традиционных пуццолановых добавок с карбонатными наполнителями, которые способны оптимизировать плотность упаковки частиц и изменять характер пористости.

Целью данной работы является исследование влагопоглощающих свойств композиционного камня при варьировании концентрации цемента и типа наполнителя, а также установление математических закономерностей процесса сорбции влаги. Для достижения поставленной цели были решены задачи по определению водопоглощения образцов согласно ГОСТ 12730.3-78 и проведена статистическая обработка полученных данных.

Долговечность композиционных строительных материалов в условиях переменного увлажнения определяется характером их пористой структуры и химической устойчивостью новообразований, эти свойства рассматриваются в работах [5,6,7]. При создании смешанных вяжущих с пониженным содержанием цемента критически важным становится выбор тонкодисперсного наполнителя (ТДН), который выполняет не только роль микронаполнителя, но и активно участвует в процессах структурообразования.

Традиционно для уплотнения структуры применяются кремнеземистые добавки (микрокремнезем, цеолит) и карбонатные породы (известняк). Однако их влияние на свойства камня неоднозначно: если карбонатные наполнители позволяют снизить водопотребность смеси и объем открытых пор, то активные минеральные добавки способствуют синтезу водостойких гидросиликатов кальция, повышающих коэффициент размягчения материала.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

Вопросы формирования структуры и свойств композиционных строительных материалов на основе смешанных вяжущих широко рассматриваются в научной литературе. Особое внимание уделяется влиянию минеральных добавок на процессы структурообразования, водопоглощения и долговечности цементных композитов.

В работах В.И. Корнеева и Л.А. Крашенинниковой [1] показано, что применение тонкодисперсных наполнителей в сухих строительных смесях способствует улучшению структуры цементного камня за счёт уплотнения упаковки частиц и снижения пористости. Авторы отмечают, что минеральная природа добавок оказывает существенное влияние на кинетику гидратационных процессов и формирование эксплуатационных характеристик материала.

Исследования Н.И. Макридина и соавторов [2] посвящены использованию кремнеземистых пород, в частности микрокремнезёма, в составе строительных композитов. Установлено, что введение аморфного кремнезёма способствует образованию дополнительных гидросиликатов кальция, что приводит к повышению плотности структуры, снижению проницаемости и увеличению долговечности материалов. Кроме того, отмечается положительное влияние таких добавок на экологические характеристики строительных композитов.

В работе Э.И. Мардановой, Н.В. Секериной и Р.З. Рахимова [3] рассматривается возможность использования отходов карбонатных пород в качестве наполнителей для многокомпонентных цементов. Авторы приходят к выводу, что карбонатные добавки способствуют снижению водопотребности смеси и улучшению плотности упаковки частиц, однако их влияние на водостойкость ограничено из-за отсутствия выраженной пуццолановой активности.

Морозова Н.Н. [4] исследует модификацию портландцемента цеолитсодержащими породами. Показано, что цеолиты обладают высокой пуццолановой активностью, способствуя формированию более прочной и устойчивой структуры цементного камня. В результате взаимодействия цеолита с продуктами гидратации цемента образуются дополнительные гидросиликаты кальция, повышающие водостойкость и долговечность материала.

Современные исследования также подтверждают значительное влияние химических и минеральных добавок на свойства цементных систем. В работе Тохиров Б., Тургунбаев У. и др. [5] установлено,



что комплексные химические добавки оказывают существенное влияние на реологические свойства цементного теста и бетонной смеси, что в дальнейшем отражается на формировании структуры материала.

В исследованиях Тургунбаев У. и соавторов [6] рассматривается разработка полимерцементных композиций с использованием промышленных отходов и химических добавок. Показано, что комплексное использование добавок позволяет направленно регулировать структуру и эксплуатационные свойства материалов.

Работа Тургунбаев У. и др. [7] посвящена термокинетическому мониторингу процессов твердения бетона. Авторы отмечают, что применение добавок влияет на кинетику гидратации цемента и формирование структуры, что в конечном итоге определяет прочностные и эксплуатационные характеристики композитов.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что тип минерального наполнителя оказывает решающее влияние на формирование пористой структуры и эксплуатационные свойства композитного камня. При этом кремнеземистые и цеолитовые добавки способствуют повышению водостойкости за счёт пуццолановых реакций, тогда как карбонатные наполнители обеспечивают уплотнение структуры и снижение водопоглощения. Однако вопросы комплексного влияния типа наполнителя и содержания цемента на влагопоглощающие свойства требуют дальнейшего изучения, что и определяет актуальность настоящего исследования.

Методология исследования

Экспериментальные исследования проводились на образцах композитного камня, изготовленных на основе смешанного вяжущего с варьированием содержания цемента в диапазоне 10–30% и использованием трех типов тонкодисперсных наполнителей (ТДН): микрокремнезема, цеолита и известняка.

Для оценки эксплуатационных свойств применялись следующие методики:

Определение водопоглощения и пористости: Испытания проводились методом фиксации изменения массы образцов в процессе их полного насыщения водой в соответствии с ГОСТ 12730.3-78. Объем открытых пор рассчитывался на основе данных о водопоглощении и плотности образцов.

Оценка однородности структуры: Степень однородности пористости определялась расчетным путем с вычислением коэффициента α (в диапазоне от 0 до 1), характеризующего стабильность поровой структуры.

Определение водостойкости: Использовался коэффициент размягчения ($K_{разм}$), рассчитываемый как отношение прочности материала в водонасыщенном состоянии к прочности сухого образца.

Математическая обработка: Для установления количественных зависимостей между концентрацией цемента (ζ) и водопоглощением (W_m) применялся регрессионный анализ с построением линейных уравнений вида $W_m = a - b \times \zeta$.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Определение водопоглощения состава на основе смешанного вяжущего проводилось путем фиксации изменения массы образцов в ходе их насыщения согласно ГОСТ 12730.3-78 [1,2]. Полученные данные сведены в табл. 1, а динамика процесса отражена на рисунок 1 (Рис. 1).

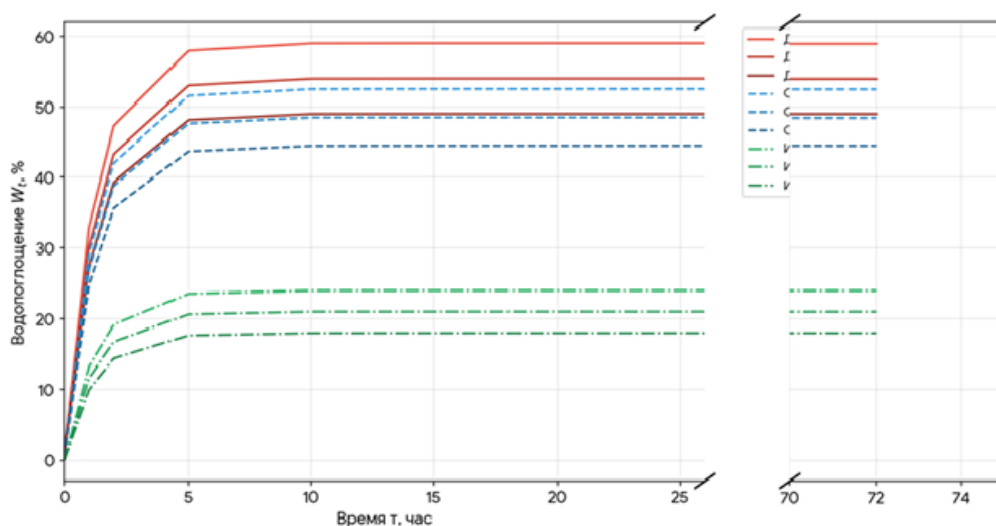


Рисунок 1. Скорость сорбции влаги образцами на основе композитного связующего

Красная сплошная — микрокремнезём. **Пунктир** — цеолит. **Зелёный штрих-пунктир** — известняк.

Экспериментальных данных подтверждает высокую эффективность **карбонатного наполнителя (известняка)**. Водопоглощение композита на его основе при 30% содержании цемента снижается до **19,2%**, что в среднем на **55–60% ниже**, чем у составов с микрокремнезёмом и цеолитом. При этом установлено, что снижение концентрации цемента в системе ведет к росту водопоглощения по общей закономерности, не зависящей от минеральной природы наполнителя (Рис. 2)

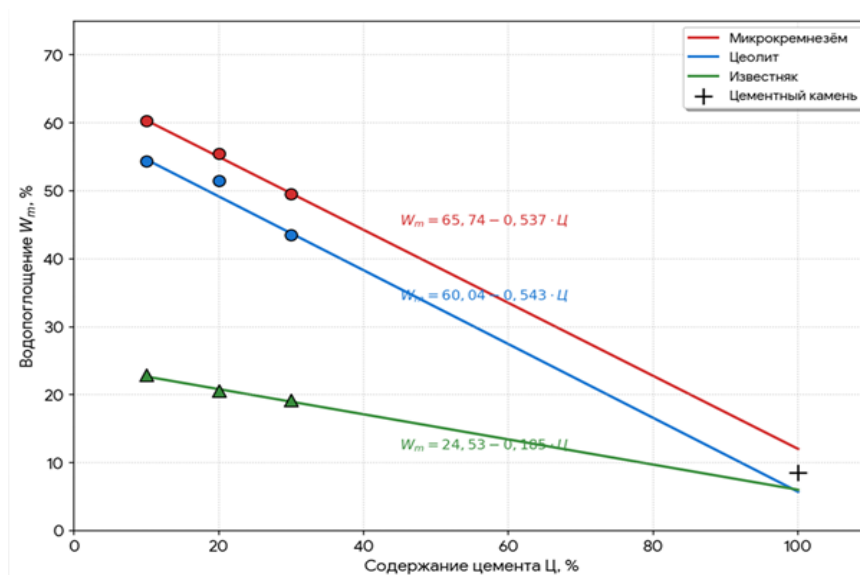


Рисунок 2. Зависимость водопоглощения композиционного вяжущего от концентрации цемента

Математическая обработка экспериментальных данных позволила установить линейную корреляцию между содержанием цемента и водопоглощением образцов. Для различных типов тонкодисперсных наполнителей (ТДН) получены следующие уравнения регрессии:

$$\begin{aligned} \text{Для микрокремнезёма:} & \quad W_m = 65,74 - 0,537 * C \\ \text{Для цеолита:} & \quad W_m = 60,04 - 0,543 * C \\ \text{Для известняка:} & \quad W_m = 24,53 - 0,185 * C \end{aligned}$$

Оценка характеристик пористости проводилась на основе данных о кинетике водопоглощения в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.3-78. Структура пор описывалась двумя ключевыми параметрами: их средним размером (r_k) и показателем однородности (α). Расчетные данные



систематизированы в табл. 1 (Табл. 1).

Таблица 1. Основные показатели физических свойств смешанного вяжущего

Вид наполнителя (ТДН)	Ц, %	В/Т	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение Wm, %	Объем пор, %	Однородность пор	Кoeff. размягчения
Микрокремнезём	10	1,01	1010	60,29	61,68	0,09	0,64
	20	0,91	1050	55,52	56,95	0,08	0,67
	30	0,75	1140	49,56	56,79	0,24	0,77
Цеолит	10	0,62	1120	54,34	59,54	0,11	0,67
	20	0,56	1130	51,50	56,20	0,11	0,73
	30	0,51	1250	43,49	55,21	0,50	0,79
Известняк	10	0,24	1690	22,90	39,20	0,73	0,54
	20	0,26	1850	20,62	37,37	1,00	0,61
	30	0,27	1890	19,20	35,65	0,92	0,68

Согласно данным табл. 1, объем открытых пор напрямую коррелирует с показателями водотвердого отношения. Для смешанного вяжущего на известняковом наполнителе (карбонатном) этот показатель минимален и составляет 35,6–39,2%, в то время как при использовании микрокремнезема (кремнеземистого) он возрастает до 56,7–61,7%.

Несмотря на меньший объем пор, образцы на основе известняка характеризуются высокой однородностью пористости (коэффициент 0,73–1,00) по сравнению с составами на микрокремнеземе (0,08–0,24). Однако известняково-цементный камень уступает в водостойкости: его коэффициент размягчения на 12–20% ниже, чем у образцов с кремнеземистыми добавками (0,54–0,68 против 0,64–0,77). Кроме того, в работах Макридин Н.И., посвященных изучению микрокремнезема и его влияния на свойства строительных материалов, показано, что его применение связано с повышением экологичности и улучшением структуры композитов [2].

Это подтверждает, что взаимодействие аморфного кремнезема с гидрозольной известью цемента приводит к синтезу водостойких гидросиликатов, упрочняющих структуру. В составах с молотым известняком этот процесс протекает медленнее, ограничиваясь образованием карбоната кальция, что позволяет прогнозировать лишь постепенный рост водостойкости в процессе дальнейшего твердения.

На основе данных табл. 3.8 можно сделать вывод, что цеолит является наиболее перспективным наполнителем для получения смешанных вяжущих с высокими эксплуатационными свойствами. А также значительное внимание вопросам структурообразования цементных композитов уделено в работах Н.Н. Морозова и Х. А. Кайс, где показано, что использование природных цеолитов способствует формированию более прочной и устойчивой структуры цементного камня за счет пуццолановой активности добавок [3,4].

Несмотря на то что по объему открытых пор (55,2–59,5%) он сопоставим с микрокремнеземом, именно составы с цеолитом демонстрируют максимальную водостойкость (коэффициент размягчения до 0,79 при Ц=30%). Это свидетельствует о формировании наиболее устойчивой гидросиликатной структуры. В сравнении с известняком, который имеет меньшую пористость (35,6–39,2%), цеолит обеспечивает прирост водостойкости на 16–22%, что делает его оптимальным выбором для композиций, работающих в условиях увлажнения.

Ключевые закономерности по табл. 1:

Плотность структуры: Известняк обеспечивает формирование наиболее плотного камня (до 1890 кг/м³) за счет низкого водопотребления смеси (В/Т = 0,24–0,27).

Однородность: Карбонатные системы характеризуются наиболее стабильной структурой — показатель однородности пор α для известняка достигает 0,92–1,00, что значительно выше, чем у



микрокремнезема (0,08–0,24).

Общая тенденция: Для всех типов наполнителей увеличение доли цемента в интервале 10–30% приводит к линейному снижению водопоглощения и объема пор, что наглядно подтверждается полученными уравнениями регрессии.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

В результате проведенного исследования пористой структуры и влагопоглощающих свойств композитного камня на смешанном вяжущем сделаны следующие выводы:

Влияние наполнителя на плотность: Установлено, что использование известнякового (карбонатного) наполнителя позволяет получить наиболее плотную и однородную структуру (плотность до 1890 кг/м³, коэффициент однородности α до 1,00) за счет низкого водопотребления смеси (В/Т=0,24–0,27). Водопоглощение в таких системах на 55–60% ниже, чем в составах с микрокремнеземом.

Водостойкость и фазовый состав: Несмотря на более высокую пористость (55–60%), составы на основе цеолита продемонстрировали максимальную водостойкость (Кразм до 0,79). Это объясняется активным взаимодействием кремнеземистого компонента с гидролизной известью, что приводит к синтезу устойчивых гидросиликатов кальция, в то время как в известняковых составах процесс ограничивается образованием менее водостойких карбонатов.

Прогностические модели: Полученные уравнения линейной регрессии подтверждают общую закономерность: рост концентрации цемента во всех системах ведет к пропорциональному снижению водопоглощения, что позволяет оптимизировать составы композитов под заданные условия эксплуатации.

Практическая рекомендация: Цеолит является наиболее перспективным наполнителем для изделий, работающих в условиях постоянного увлажнения, тогда как известняк оптимален для достижения максимальной плотности и снижения сорбции влаги в сухих условиях.

Список использованной литературы:

1. Корнеев В.И., Крашенинникова Л.А. Сухие строительные смеси на основе портландцемента // Цемент. - 1998. - №3. - С.27-31.
2. Макридин Н.И., Демьянова В.С., Перминов Б.Г., Шалыгин Н.П., Максимова И.Н. Комплексное использование кремнистых пород Пензенской области // Современные проблемы строительного материаловедения.: II Академические чтения. - Казань, 1996. - С. 28-30.
3. Марданова Э.И., Секерина Н.В., Рахимов Р.З. Использование отходов камнедробления карбонатных пород в качестве наполнителей тонкомолотых многокомпонентных цементов // Актуальные проблемы строительного материаловедения.: Тезисы докладов III академических чтений. - Саранск, 1997. - С. 120-121.
4. Ю.Морозова Н.Н. Модификация портландцемента цеолитосодержащей породой для получения смешанного вяжущего. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. -Казань, 1997. - 18с
5. Toxirov Bobur, Turgunbaev Urinbek, Influence of complex chemical additives on the rheological properties of cement paste and concrete mixture, E3S Web of Conferences International Scientific Conference on Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2021Tashkent1 April 2021до 3 April 2021, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402020>
6. Turgunbayev U., Sharipova D., Rakhimova N., Yunusova F. Development of technology for obtaining polymer cement glue (PCG) with use of chemical additives and industrial waste. E3S Web of Conferences 401, 05008 (2023) CONMECHYDRO – 2023 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340105008>
7. Turgunbaev, U., Rakhimova, N., Eshmanov, T., Thermokinetic monitoring of concrete using chemical additives, 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/10.1063/5.0197423>

muhandislik

& iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100