

ISSN 2181-7200

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ТАЪЛИМ, ФАН ВА ИННОВАЦИЯЛАР ВАЗИРЛИГИ

ФАРҒОНА ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

И Л М И Й – Т Е Х Н И К А Ж У Р Н А Л И



2026. СПЕЦ. ВЫПУСК № 13

**НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

**SCIENTIFIC –TECHNICAL
JOURNAL**

ФАРҒОНА – 2026

ИЛМИЙ-ТЕХНИКА ЖУРНАЛИ ТАХРИРИЯТИ

1997 йилдан буён нашр этилади.
Йилига 6 марта чоп қилинади.

ЎзР Олий аттестация комиссияси
Раёсатининг 2013 йил 30 декабрдаги
№201/3 қарори билан журнал ОАК нинг
илмий нашрлари рўйхатига киритилган

Бош муҳаррир

Р.Р. ТОЖИЕВ

Тахрир хайъати:

Физика-математика фанлари:

1. Вайткус Ю.Ю., академик, ф.-м.ф.д., проф. – Вильнюс, Литва ДУ
2. Тарасенко С.А., ф.-м.ф.д., проф. – С-Пб. ФТИ, РФА
3. Мўминов Р.А., академик, ф.-м.ф.д., проф. – Ўз ФА ФТИ
4. Сиддиқов Б.М., Prof. of Mathem. – Ferris State University, USA
5. Нуриддинов И., ф.-м.ф.д., проф. – Ўз ФА ЯФИ
6. Юлдашев Н.Х., ф.-м.ф.д., проф. – ФДТУ

Механика:

1. Алиматов Б.А., т.ф.д., проф. – ФДТУ
2. Сиваченко Л.А., академик, т.ф.д., проф. – Бел.-Рос. Университет, Белорусия
3. Тожиёв Р.Ж., т.ф.д., проф. – ФДТУ
4. Тўхтақўзиёв А., т.ф.д., проф. – Ўз ФА МЭИ
5. Файзиматов Ш.Н., т.ф.д., проф. – ФДТУ
6. Валиёв Г.Н., т.ф.д., проф. – ФДТУ

Қурилиш:

1. Аббасов Ё.С., т.ф.д., проф. – ФДТУ
2. Ақромов Х.А., т.ф.д., проф. – Тош АҚИ
3. Одилхажоев А.Э., т.ф.д., проф. – Тош ТЙТМИ
4. Раззаков С.Ж., т.ф.д., проф. – НамМҚИ
5. Шинкова Н.Б. т.ф.д.проф. – Москва Арх. Инст., Россия

Энергетика, электротехника

1. Арипов Н.М., т.ф.д., проф. – Тошкент ТЙТМИ
2. Хайриддинов Б.Э., т.ф.д., проф. – Қарши ДУ
3. Қасимахунова А.М., т.ф.д., проф. – ФДТУ
4. Эргашев С.Ф., т.ф.д., проф. – ФДТУ

Кимёвий технология ва экология

1. Салиханова Д.С., т.ф.д. проф. – Ўз ФА УНКИ
2. Ибрагимов А.А., к.ф.д., проф. – ФДУ
3. Ибрагимов О.О., к.х.ф.д. проф. – ФДТУ
4. Омонов Т.С., ф.-м.ф.д., проф. – Альберта Универ, Канада
5. Хамдамова Ш.Ш., т.ф.д. – ФДТУ
6. Хамроқулов З.А., т.ф.д. – ФДТУ

Электрон қурилмалар ва ахборот технологиялари:

1. Расулов А.М., ф.-м.ф.д., проф. – ФДТУ
2. Акбаров Д.Е., ф.-м.ф.д., проф. – ҚДУ
3. Нишонов А.Х., т.ф.д., проф. – ТАТУ

Ижтимоий-иқтисодий фанлар

1. Ертаев К.Е., и.ф.д. проф. – Тараз ДУ, Қозоғистон
2. Иқромов М.А., и.ф.д., проф. – Тош ИУ
3. Искандарова Ш.М., ф.ф.д., проф. – ФДУ
4. Исманов И.Н., и.ф.д., проф. – ФДТУ
5. Жаҳонгиров И.Ж., и.ф.д. – ФДТУ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издаётся с 1997 года.
Выходит 6 раз в год.

Постановлением Президиума Высшей
аттестационной комиссии РУз №201/3
от 30 декабря 2013 г. журнал включен в
список научных изданий ВАК.

Главный редактор

Р.Р. ТОЖИЕВ

Редакционная коллегия:

Ё.С. Аббасов, Б.А. Алиматов, Х.А. Ақромов, Н.М. Арипов, Д.Е. Акбаров, Ю.Ю. Вайткус, Г.Н. Валиев, К.Е. Ертаев, И.Ж. Жаҳонгиров, А.А. Ибрагимов, О.О. Ибрагимов, М.А. Иқромов, Ш.М. Искандарова, И.Н. Исманов, А.М. Қасимахунова, Р.А. Муминов, И. Нуриддинов, А.Х. Нишонов, А.Э. Одилхажоев, Т.С. Омонов, А.М. Расулов, С.Ж. Раззаков, Б. Сиддиқов, Л.А. Сиваченко, Д.С. Салиханова, С.А. Тарасенко, Р.Ж. Тожиёв, А.А. Тухтақўзиёв, Ш.Н. Файзиматов, Б.Э. Хайриддинов, Ш.Ш. Хамдамова, З.А. Хамроқулов, Н.Б. Шинкова, С.Ф. Эргашев, Н.Х. Юлдашев (ответственный редактор)

SCIENTIFIC – TECHNICAL JOURNAL

It has been published since 1997.
It is issued 6 times a year.

By Resolution №. 201/3 of the Presidium of the Higher
Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan dated
December 30, 2013, the journal was included in the list of
scientific publications of the HAC.

Editor-in-chief

R.R. TOJIEV

Editorial board members:

Yo.S. Abbasov, B.A. Alimatov, X.A. Akromov, N.M. Aripov, D.Ye. Akbarov, Yu.Yu. Vaitkus, G.N. Valiev, K.E. Ertaev, I.J. Jaxongirov, A.A. Ibragimov, O.O. Ibragimov, M.A. Ikramov, Sh.M. Iskandarova, I.N. Ismanov, A.M. Kasimahunova, R.A. Muminov, I. Nuritdinov, A.X. Nishonov, A.O. Odilxajayev, T.S. Omonov, A.M. Rasulov, S.J. Razzakov, B. Siddikov, L.A. Sivachenko, D.S. Salikhanova, S.A. Tarasenko, R.J. Tojiev, A.A. Tuxtakuziev, Sh.N. Fayzimatov, B.E. Hayriddinov, Sh.Sh. Xamdamova, Z.A. Xamroqulov, N.B. Shinkova, S.F. Ergashev, N.Kh. Yuldashev (Executive Editor)

ҚУРИЛИШ

Dosjanova G. Ichki devorlar uchun paz-grebenli fibropenobeton plitalar: O'zbekiston qurilish sohasiga moslashtirilgan texnologiya va uning texnik-iqtisodiy bahosi	9
Alimbaev A.B. Turli xil armaturalarning ko'pikbeton bilan tishlashishini o'rganish	14
Ismailov E. Vibroaktivlashtirilgan mayin tuyilgan bog'lovchilarning sement toshi tuzilishi va ta'mirlash betonlari xossalari ta'siri	19
Soy V.M., Eshbekov Sh.G., Jumageldiev A.O. Qizilmiya ildizi chiqindilari asosidagi devorbop arbolitbeton bloklarning issiqlik-texnik va ekspluatatsion baholanishi	23
Bahodirov A., Lepesbayeva P., Dosjanova G. O'zbekiston sharoitida churush deformatsiyalarini kamaytirish uchun avtoklavsiz fibralli ko'pikbetonni gibrid dispers armaturalash	30
Asamatdinov M.O., Aytmuratov A.T., Barliqov R.T. Alyuminiy oksidi va gidroksidining sement bog'lovchilarning qotish muddatlariga ta'sirini tadqiq etish	35
Ibraximov Sh.A. Toshkent sharoitida tashqi devor to'siqlari va doimiy temirbeton qolipli yig'ma-monolit konstruksiyalarning texnologik ishonchliligini oshirish	41
Ilyasov A.T., Nazibekov A.K. Geopolimer betonning mustahkamlik va chidamlilik ko'rsatkichlarini an'anaviy beton bilan qiyosiy tahlili	46
Alimbaev A.B. Turli xil armaturalarning ko'pikbeton bilan tishlashishini o'rganish	52
Ibraximov G.A., Abduvaliev Z.M. Ko'p kvartirali uylarni kapital ta'mirlash va hovli hududlarini obodonlashtirish ishlarini sinxronlashtirishda tashkiliy-texnologik yechimlarni tanlash	60
Ismaylova A.S. Avtoklavsiz ko'pikbeton panellarni issiq-quruq sharoitda qotirishni boshqarish va sifatini nazorat qilish	64
Ibraximov G.A., Abduvaliev Z.M. Toshkent shahri mirobod tumanida ko'p kvartirali uylarni kapital ta'mirlash va hovli hududlarini obodonlashtirish ishlarini sinxron rejalashtirish samaradorligi	68
Shnekeyeva G., Shnekeev J., Zaripbaeva S. Qoraqalpog'iston mintaqasi landshafti, iqlim va ekologik omillari	73
Ismaylova A.S. Energiya tejamkor devor elementlari uchun perlit to'ldirgichli ko'pikbetonning issiqlik-texnik va namlik optimizatsiyasi	78
Qodirova X. AS va Sika® VISCOCRETE®-1095 yordamida avtoklavsiz ko'pikbeton uchun sement-qum matritsasining dastlabki struktura hosil bo'lish jarayonini boshqarish	82
Turgaev J.A., Taxirjanov N.K. Issiqlik izolyatsiyalovchi-konstruksiyaviy bloklar mustahkamligini oshirish uchun sement matritsasi va shishtirilgan vermikulit sirtini kompleks modifikatsiyalash	86
Qodirova X. GGBFS va faollashtirilgan tabiiy zeolit bilan modifikatsiyalangan avtoklavsiz D400 ko'pikbetonda parvarishlash rejimiga bog'liq gidratatsiya va g'ovak tuzilmaning takomillashuvi	95
Turgaev J.A., Taxirjanov N.K. Kompozitsion bog'lovchili vermikulitbeton devor bloklarini ishlab chiqarish texnologiyasini ishlab chiqish va texnik-iqtisodiy asoslash	101
Kayratdinova A.B. O'zbekistonning keskin kontinental iqlim sharoitida bazalt fibrobetonli kombinatsiyalashgan yo'l plitalarini loyihalash va qo'llash istiqbollari	108

ҚУРИЛИШ

Turgaev J., Soy V. Kukunli chiqindilar asosidagi ko'pik tuzilishini o'zgartirgan karbonat-silikat qo'shimchali avtoklavlanmagan ko'pikbeton	113
Jiemuratov J.K. Beltau koni xomashyosidan olingan ohak-seolit bog'lovchilari asosidagi devor materiallari	118
Xamrayev J.A. Qo'ytosh vollastonitining maydonligi va dastlabki qotish tartibining avtoklavlanmagan sement-uchqunchakli ko'pikbetonning namlikga bog'liq faoliyatiga ta'siri	122
Ibraximov Sh.A. Monolit va yig'ma-monolit fuqarolik binolarining ekspluatatsion sifatlarini kompleks oshirishga tashkiliy-texnologik yondashuv	128
Ismailov E. Barxan qumi asosida kompleks modifikatsiyalangan ta'mirlash qorishmalarini loyihalash va texnologik samaradorligini baholash	134
Rajabov U.O. Kengaytirilgan perlit va qayta ishlangan keramik g'isht chiqindilari asosidagi namlik muvozanatlangan yengil beton: issiqlik va qisqarish xususiyatlari	138
Tolegenov B.D. Qurilishda ishlarni tashkil etish modellarining mohiyati va ularni amalga oshirish usullari	143
Rajabov U.O. Mahalliy xomashyolardan olingan mineral mikroto'ldirgichlarning yuqori mustahkamlikka ega yengil fibrobeton matritsasi tuzilishi va xossalriga ta'siri	150
Ilyasov A., Auezbaev R. Quruq qorishmalar asosidagi yengil g'ovak betonlarni optimallashtirish	156
Xamrayev J.A. Qo'ytosh vollastoniti va bazalt tolasi bilan o'zgartirilgan noavtoklav sement-kulli ko'pikbeton tarkibini tanlash va uning xossalari baholash	160
Ilyasov A.T., Nazibekov A.K. Turli xil nisbatdagi kul uchqindisi va maydalangan donador domna shlakidan tayyorlangan geopolimer betonning mustahkamlik xususiyatlari	166
Shnekeeva G., Kayratdinova A.B. Mahalliy xomashyo asosida sement-beton qoplamalarni kompleks modifikatsiyalash: tahliliy sharh va uslubiy tavsiyalar	170

ҚИСКА ХАБАРЛАР

Jiemuratov J.K., Markabaeva K.T. Beltau konidagi tabiiy seolitlarning ohak-seolit bog'lovchilari uchun putsolan faolligi	177
Asamatdinov M.O., Tursimuratov B.R. Qoraqalpog'iston barxan qumi asosida ohakli-qumli suvoq aralashmalari tarkibini ishlab chiqish	180
Ongarbaev A.M. Kuchsiz gruntlarda quvur o'tkazgichlar zaminlari va poydevorlarini qurishning o'ziga xos jihatlari (Qoraqalpog'iston hududi sharoitida)	183
Ilyasov A., Auezbaev R. Nanokremnezol bilan modifikatsiyalangan avtoklavsiz ko'pikbeton ..	186
Asamatdinov M.O., Tursimuratov B.R. Ohakli bog'lovchilar asosidagi quruq shuvoq qorishmalari uchun xomashyolar tavsifi	189
Муаллифлар диққатига !	193

СТРОИТЕЛЬСТВО

Досжанова Г. Пазогребневые фибропенобетонные плиты для внутренних перегородок: локализованная технология и технико-экономическая оценка для строительства Узбекистана	9
Алимбаев А.Б. Исследование сцепления различных видов арматуры с пенобетоном	14
Исмаилов Е. Влияние виброактивированных мягких смышленных связителей на структуру цементного камня и свойства ремонтного бетона	19
Цой В.М., Эшбеков Ш.Г., Жумагелдиев А.О. Теплотехническая и эксплуатационная оценка стеновых арболитобетонных блоков на основе отходов корня солодки	23
Баходиров А., Лепесбаева П., Досжанова Г. Гибридное дисперсное армирование неавтоклавного фибропенобетона для снижения усадочных деформаций в условиях Узбекистана	30
Асаматдинов М.О., Айтмуратов А.Т., Барлыков Р.Т. Исследование влияния оксида и гидроксида алюминия на сроки схватывания цементных вяжущих	35
Ибрахимов Ш.А. Повышение технологической надежности наружных стеновых ограждений и сборно-монолитных конструкций с несъемной железобетонной опалубкой в условиях Ташкента	41
Ильясов А.Т., Назобеков А.К. Сравнительный анализ показателей прочности и долговечности геополимерного бетона и традиционного бетона	46
Алимбаев А.Б. Изучение сцепления различных видов арматуры с пенобетоном	52
Ибрахимов Г.А., Абдувалиев З.М. Выбор организационно-технологических решений при синхронизации работ по капитальному ремонту многоквартирных домов и благоустройству дворовых территорий	60
Исмаилова А.С. Управление отверждением и контроль качества неавтоклавированных пенобетонных панелей в условиях горячей сушки	64
Ибрахимов Г.А., Абдувалиев З.М. Эффективность синхронизированного планирования работ по капитальному ремонту многоквартирных домов и благоустройству дворовых территорий в мирабадском районе города Ташкента	68
Шнекеева Г., Шнекеев Ж., Зарипбаева С. Ландшафт, климат и экологические факторы каракалпакского региона	73
Исмаилова А.С. Теплотехническая и влажностная оптимизация пенобетона с перлитовым наполнителем для энергоэффективных стеновых элементов	78
Кодирова Х. Регулирование раннего структурообразования цементно-песчаной матрицы для неавтоклавного пенобетона с использованием AS и Sika® ViscoCrete®-1095	82
Тургаев Ж.А., Тахиржанов Н.К. Комплексная модификация цементной матрицы и поверхности вспученного вермикулита для повышения прочности теплоизоляционно-конструкционных блоков	86
Кодирова Х. Гидратация и совершенствование поровой структуры неавтоклавного пенобетона D400, модифицированного GGBFS и активированным природным цеолитом, в зависимости от режима твердения	95
Тургаев Ж.А., Тахиржанов Н.К. Разработка технологии производства и технико-экономическое обоснование вермикулитбетонных стеновых блоков на композиционном вяжущем	101
Кайратдинова А.Б. Перспективы проектирования и применения комбинированных дорожных плит из базальта-фибробетона в условиях строго континентального климата Узбекистана	108

СТРОИТЕЛЬСТВО

Тургаев Ж., Цой В. Неавтоклавный пенобетон с модифицированной пеноструктурирующей карбонатно-силикатной добавкой на основе порошкообразных отходов	113
Жиемуратов Ж.К. Стеновые материалы на основе известково-цеолитных вяжущих из сырья бельтауского месторождения	118
Хамраев Ж.А. Влияние мягкости Койташского волластонита и начального режима становки на влажностные производства неавтоклавируемого цементно-перевозного пенобетона	122
Ибрахимов Ш.А. Организационно-технологический подход к комплексному повышению эксплуатационных свойств монолитных и сборно-монолитных гражданских зданий	128
Исмаилов Е. Проектирование и оценка технологической эффективности комплексных модифицированных ремонтных смесей на основе барханского песка	134
Раджабов У.О. Влажностно-балансируемый легкий бетон на основе распространенного перлита и переработанных отходов керамического кирпича: термические и сужистительные производства	138
Толегенов Б.Д. Сущность моделей организации строительных работ и способы их реализации	143
Раджабов У.О. Влияние минеральных микронаполнителей из местного сырья на структуру и свойства матрицы высокопрочного легкого фибробетона	150
Ильясов А., Ауезбаев Р. Оптимизация лёгких ячеистых бетонов на основе сухих смесей	156
Хамраев Ж.А. Подбор состава и оценка свойств неавтоклавного цементно-зольного пенобетона, модифицированного койташским волластонитом и базальтовым волокном	160
Ильясов А.Т., Назибеков А.К. Прочностные характеристики геополимерного бетона, изготовленного из золы-уноса и молотого гранулированного доменного шлака в различных соотношениях	166
Шнекеева Г., Кайратдинова А.Б. Комплексная модификация цементобетонных покрытий на основе местного сырья: аналитический обзор и методические рекомендации	170

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Жиемуратов Ж.К., Маркабаева К.Т. Пуццолановая активность природных цеолитов бельтауского месторождения для известково-цеолитных вяжущих	177
Асаматдинов М.О., Турсымуратов Б.Р. Разработка составов известково-песчаной штукатурной смеси из барханного песка Каракалпакстана	180
Онгарбаев А.М. Особенности устройства оснований и фундаментов трубопроводов в слабых грунтах (на примере условий Каракалпакстана)	183
Ильясов А., Ауезбаев Р. Неавтоклавный пенобетон, модифицированный нанокремнеземом	186
Асаматдинов М.О., Турсымуратов Б.Р. Характеристика сырьевых материалов для сухих штукатурных смесей на основе известковых вяжущих	189
К сведению авторов !	194

BUILDING

Dosjanova G. Tongue-and-groove fiber-reinforced foam concrete panels for interior partitions: a localized technology and techno-economic assessment for construction in Uzbekistan	9
Alimbaev A.B. Investigation of bond strength between various types of reinforcement and foam concrete	14
Ismailov E. Effect of vibroactivated fine-ground binders on cement stone structure and properties of repair concretes	19
Soy V.M., Eshbekov Sh.G., Jumageldiev A.O. Thermal and operational assessment of wall wood-concrete blocks based on licorice root waste	23
Bakhodirov A., Lepesbaeva P., Dosjanova G. Hybrid dispersed reinforcement of non-autoclaved fiber-reinforced foam concrete to reduce shrinkage deformation under the conditions of Uzbekistan	30
Asamatdinov M.O., Aytmuratov A.T., Barliqov R.T. Investigation of the effect of aluminum oxide and aluminum hydroxide on the setting time of cementitious binders	35
Ibrakhimov Sh.A. Improving technological reliability of external wall envelopes and permanent reinforced concrete formwork precast-monolithic structures under Tashkent conditions	41
Ilyasov A.T., Nazibekov A.K. Comparative analysis of the strength and durability indicators of geopolymer concrete with traditional concrete	46
Alimbaev A.B. Study of the bonding of various types of reinforcement with foam concrete	52
Ibrakhimov G'.A., Abduvaliev Z.M. Selection of organizational and technological solutions for synchronizing capital repair of apartment buildings and courtyard improvement	60
Ismaylova A.S. Curing management and quality control of non-autoclaved foam concrete panels in hot-dry conditions	64
Ibrakhimov G'.A., Abduvaliev Z.M. Effectiveness of synchronized planning of capital repair of apartment buildings and courtyard improvement in mirobod district of Tashkent	68
Shnekeeva G., Shnekeev J., Zaripbaeva S. Landscape, climate, and ecological factors of the karakalpakstan region	73
Ismaylova A.S. Thermal and moisture optimization of foam concrete with perlite filler for energy-efficient wall elements	78
Kodirova Kh. Regulation of early structure formation in a cement-sand matrix for non-autoclaved foam concrete using AS and SIKAR® VISCOCRETE®-1095	82
Turgaev J.A., Taxirjanov N.K. Complex modification of cement matrix and bloated vermiculite surface to increase the strength of heat-izolating constructional blocks	86
Kodirova Kh. Curing-regime dependent hydration and pore-structure refinement of non-autoclaved D400 foam concrete modified with GGBFS and activated natural zeolite	95
Turgaev J.A., Taxirjanov N.K. Development of production technology and technical-economic substantiation of vermiculitbeton wall blocks on composite bindings	101
Kayratdinova A.B. Prospects for designing and application of basalt fibroconcrete combined road plates in the acute continental climate conditions of Uzbekistan	108

BUILDING

Turgaev J., Soy V. Non-autoclaved foam concrete with a modified foam-structuring carbonate-silicate additive based on powdered wastes	113
Jiemuratov J.K. Wall materials based on lime-zeolite binders from the beltau deposit raw materials	118
Khamrayev J.A. Influence of Koytash wollastonite fineness and initial curing regime on moisture-related performance of non-autoclaved cement-fly ash foam concrete	122
Ibrakhimov Sh.A. Organizational and technological approach to integrated improvement of operational qualities of monolithic and precast-monolithic civil buildings	128
Ismailov E. Design and technological efficiency assessment of complex modified repair mortars based on dune sand	134
Rajabov U.O. Moisture-balanced lightweight concrete based on expanded perlite and recycled ceramic brick waste: thermal and shrinkage performance	138
Tolegenov B.D. Models for organizing construction work: core principles and implementation methods	143
Rajabov U.O. Influence of mineral microfillers from local raw materials on the structure and properties of the matrix of highly-strength light fibrobeton	150
Ilyasov A., Auezbaev R. Optimization of lightweight porous concrete based on dry mixes	156
Khamrayev J.A. Selection of composition and evaluation of the properties of non-autoclave cement-sol foam concrete modified with koytash wollastonite and basalt fiber	160
Ilyasov A.T., Nazibekov A.K. Strength properties of geopolymer concrete prepared from varying ratios of fly ash and ground granulated blast-furnace slag	166
Shnekeeva G, Kayratdinova A.B. Comprehensive modification of cement concrete surfaces based on local raw materials: analytical review and methodological recommendations	170

SHORT MESSAGES

Jiemuratov J.K., Markabaeva K.T. Puzzolanic activity of natural zeolites from the beltau deposit for lime-zeolite binders	177
Asamatdinov M.O., Tursymuratov B.R. Development of lime-sand plaster mixtures based on dune sand of Karakalpakstan	180
Ongarbaev A.M. Features of constructing pipeline bases and foundations in weak soils (in the conditions of Karakalpakstan)	183
Ilyasov A., Auezbaev R. Non-autoclaved foam concrete modified with nano-silica sol	186
Asamatdinov M.O., Tursymuratov B.R. Characteristics of raw materials for dry plaster mixes based on lime binders	189
Information to the authors !	195

ICHKI DEVORLAR UCHUN PAZ-GREBENLI FIBROPENOBETON PLITALAR: O'ZBEKISTON QURILISH SOHASIGA MOSLASHTIRILGAN TEXNOLOGIYA VA UNING TEXNIK-IQTISODIY BAHOSI

mustaqil tadqiqotchi G. Dosjanova

Qoraqalpoq davlat universiteti

e-mail: guljaynardosjanova@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8649-0592>

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya: Maqolada O'zbekiston uy-joy qurilishida ichki devorlar uchun avtoklavsiz fibropenobetondan tayyorlangan paz-grebensimon plitalardan foydalanish imkoniyati ko'rib chiqilgan. Mahalliy sharoitga moslashtirilgan yondashuv portlandsement, kvars qumi, karbonatli mineral kukun, ko'pik hosil qiluvchi modda hamda 0,2% hajmiy polipropilen va 0,4% hajmiy bazalt tolasidan iborat gibrid armaturadan foydalanishga asoslanadi. O'rtacha zichligi 1200 kg/m³ gacha bo'lgan 600 x 300 x 80 mm o'lchamdagi plitalar havo shovqinini izolyatsiyalash indeksining 43 dB bo'lishini, siqilishga mustahkamligining B2,5 dan past bo'lmasligini va sotuvga chiqarishdagi namligining 25% dan oshmasligini ta'minlaydi. Xarajatlar tahlili shuni ko'rsatadiki, optimallashtirilgan tarkibning xomashyo tannarxi faqat polipropilen tolasiga asoslangan zavod tarkibiga nisbatan taxminan 14,5% ga arzonroq. Shuningdek, O'zbekiston sharoitida devor qalinligining yupqaligi, 1 m² ning vazni mo'tadilligi, yong'inga chidamliligi va avtoklavsiz kichik avtomatlashtirilgan liniyalarda ishlab chiqarish imkoniyatining mavjudligi muhim ahamiyat kasb etadi.

Kalit so'zlar: paz-grebensimon plita, fibropenobeton, ichki devorlar, tovush izolyatsiyasi, iqtisodiy samaradorlik, mahalliyashtirish, O'zbekiston.

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения пазогребневых плит из неавтоклавного фибропенобетона для внутренних перегородок в жилищном строительстве Узбекистана. Локализованный подход основан на использовании портландцемента, кварцевого песка, карбонатного минерального порошка, пенообразователя и гибридного армирования 0,2% об. полипропиленовой + 0,4% об. базальтовой фибры. Плиты размером 600 x 300 x 80 мм при средней плотности до 1200 кг/м³ обеспечивают индекс изоляции воздушного шума 43 дБ, прочность при сжатии не ниже B2,5 и отпускную влажность не выше 25%. Расчет затрат показывает снижение сырьевой стоимости оптимизированного состава примерно на 14,5% по сравнению с заводским составом на одной полипропиленовой фибре. Для условий Узбекистана существенны также малая толщина перегородки, умеренная масса 1 м², негорючесть и возможность производства на небольших автоматизированных линиях без автоклавов.

Ключевые слова: пазогребневая плита, фибропенобетон, внутренние перегородки, звукоизоляция, экономическая эффективность, локализация, Узбекистан.

Abstract: This article examines the feasibility of using non-autoclaved fiber-reinforced foam concrete tongue-and-groove blocks for internal partitions in residential construction in Uzbekistan. The localized approach is based on using Portland cement, quartz sand, carbonate mineral powder, a foaming agent, and hybrid reinforcement of 0.2% vol. polypropylene + 0.4% vol. basalt fiber. Blocks measuring 600 x 300 x 80 mm with an average density of up to 1200 kg/m³ provide an airborne sound insulation index of 43 dB, a compressive strength of at least B2.5, and a release moisture content not exceeding 25%. A cost analysis shows a reduction of approximately 14.5% in the raw material cost of the optimized composition compared to the factory composition using only polypropylene fiber. Also significant for conditions in Uzbekistan are the partition's thin profile, moderate weight per m², non-combustibility, and the possibility of production on small, automated, non-autoclave lines.

Keywords: tongue-and-groove block, fiber-reinforced foam concrete, internal partitions, sound insulation, cost-effectiveness, localization, Uzbekistan.

Kirish

Zamonaviy turarjoy binolaridagi ichki to'siq devorlar bir vaqtning o'zida bir nechta vazifani bajarishi lozim: me'yoriy tovush izolyatsiyasini ta'minlash, qavatlararo yopmalarga ortiqcha yuk tushirmaslik, tez montaj qilinish va foydalanish davomida o'z geometriyasini saqlab qolish. O'zbekiston uchun bu talablar qatoriga seysmik omil ham qo'shiladi: yuk ko'tarmaydigan elementlarning o'z og'irligi qanchalik kam bo'lsa, binoning yuk ko'taruvchi tizimiga tushadigan qo'shimcha og'irlik ham shunchalik kamayadi. Shu bois mahalliy xomashyodan ishlab chiqarish mumkin bo'lgan yengil va yonmaydigan materiallar katta qiziqish uyg'otmoqda.

Gipsdan yasalgan paz-grebli plitalar aniq geometriyasi va montaj tezligi tufayli keng tarqalgan, biroq bir xil qalinlikda ular namlikka chidamliligi va tovush izolyatsiyasi bo'yicha boshqa materiallardan ortda qoladi. Gazobeton bloklari yengilroq, lekin havo shovqinidan himoyalashning qiyosiy ko'rsatkichiga erishish uchun to'siq devorni ancha qalinroq qilishga to'g'ri keladi. Beton, keramzitbeton va silikat toshlar mustahkamlikni ta'minlasa-da, devorning 1 m² massasini oshiradi va qurilish maydonida ularga ishlov berishni murakkablashtiradi.

Fibropenobetonidan ishlangan paz-grebli plitalar bu borada oraliq o'rinni egallaydi: material ancha yengil, yopiq g'ovakli tuzilishga ega, oson ishlov beriladi va armaturalanganda cho'kish yoriqlariga nisbatan ancha chidamli bo'ladi. Avtoklavsiz texnologiya ishlab chiqarishni ixcham liniyalarda tashkil etish imkonini beradi, bu esa O'zbekistonning viloyat qurilish bozorlari uchun juda qulaydir.

Ushbu maqolaning maqsadi – mustahkamlik, cho'kish, akustika va xomashyo sarfi bo'yicha tajriba ko'rsatkichlariga asoslanib, ichki to'siq devorlar uchun mo'ljallangan fibropenobeton paz-grebli plitalarni mahalliyashtirishning texnologik maqsadga muvofiqligi va iqtisodiy samaradorligini baholashdan iborat.

Obyekt sifatida o'rtacha quruq zichligi 1200 kg/m³ gacha bo'lgan, o'lchami 600 x 300 x 80 mm bo'lgan fibropenobetonidan yasalgan to'siq paz-grebnik plitalari qabul qilingan. Asosiy tarkibi portlandsement, kvars qumi, mineral kukun, ko'pik hosil qilgich va dispersli fibradan iborat. O'zbekiston sharoitida mahalliyashtirish uchun sement qismini mahalliy sement zavodlari, qumni — yuvib va elakdan o'tkazilgach — karyer va daryo manbalari, mineral kukunni esa tosh maydalashning karbonatli otsevlari hisobidan ta'minlash mumkin.

Ishlab chiqarish sxemasi avtoklavlashni talab etmaydi. Aralashma penobeton aralashtirgichda quruq komponentlar, suv, ko'pik va tolalarni me'yorlab solish orqali tayyorlanadi. Aralashtirilgach, qorishma metall qoliplarga quyiladi va u yerda paz-grebnik buyumning aniq geometriyasi shakllantiriladi. Qotish jarayoni issiqlik kamerasida yoki yopiq holda saqlash zonasida amalga oshiriladi, shundan so'ng plitalar qolipdan olinadi, poddonlarga taxlanadi, plyonka bilan o'raladi va sotishga ruxsat etilgan namlik darajasiga yetguncha saqlanadi.

Texnik-iqtisodiy baholash ikki bosqichda amalga oshirildi. Birinchisi — fibropenobeton plitalarning ekspluatatsion xossalarini gipsli, gazobetonli, keramzitbetonli, betonli va silikatli to'siq buyumlari bilan taqqoslash. Ikkinchisi — hajmining 0,6% ini tashkil etuvchi polipropilen fibrallari tarkibdan hajmining 0,2% i polipropilen va 0,4% i bazalt fibrasidan iborat gibrid tarkibga o'tishda xomashyo tejamkorligini hisoblash. Dastlabki ma'lumotlardagi pul qiymatlari hisoblama indekslar sifatida foydalanilgan: O'zbekistondagi real loyiha uchun ular sement, qum, mineral kukun, fibra va ko'pik hosil qilgich bo'yicha mahalliy tijoriy takliflar asosida qayta hisoblab chiqilishi kerak.

Akustik yaroqlilik shovqindan himoya qilish bo'yicha milliy talablarning dolzarblashuvini hisobga olgan holda ko'rib chiqildi. Turar joy va jamoat binolari uchun nafaqat laboratoriya indeksining qiymati, balki tutashuvlarning sifati ham muhim: elastik tovush izolyatsiyalovchi qistirmani qo'yish, to'siqni yuk ko'taruvchi devorlar va qavatlararo yopmaga to'g'ri anklash, choklarni bo'shliqlarsiz kley bilan to'ldirish lozim.

1-jadval.

Mahalliyashtiriladigan pazogreben plitasining texnik tavsiflari

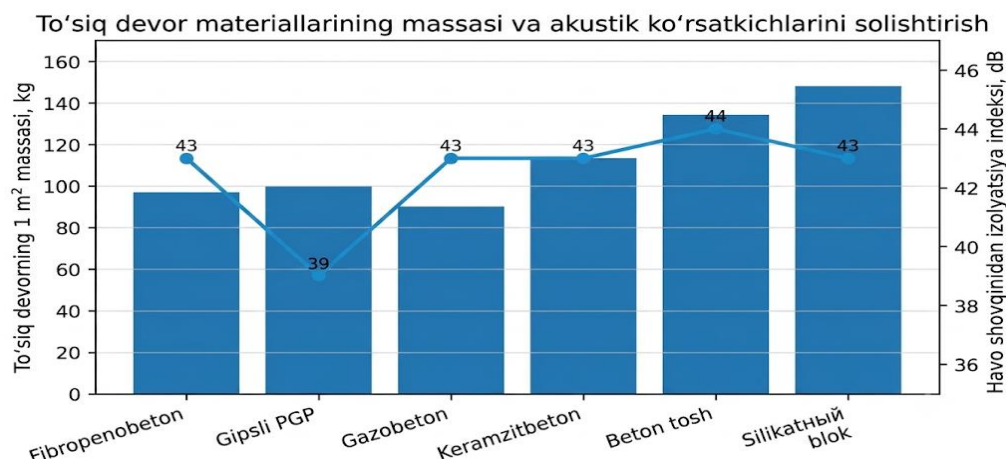
Ko'rsatkich	Fibropenobetonli paz-grebensimon plitaning ahamiyati
Mahsulot o'lchami (mm)	600 x 300 x 80
Quruq holatdagi o'rtacha zichlik, kg/m ³	do 1200
Siqilishga mustahkamlik sinfi	past emas B2,5
Sovuqbardoshlik markasi	past emas F25
Havodagi shovqinni izolyatsiyalash indeksi, dB	past emas 43
Suvga chidamlilik	0,9
Yuklab jo'natishdagi namlik, %	yuqoriroq emas 25
Yonuvchanlik darajasi	NG

Keng tarqalgan materiallar bilan taqqoslaganda, qalinligi 80 mm bo'lgan fibropenobeton plita 1 m² vazni taxminan 96,9 kg bo'lgan holda havo shovqinini izolyatsiyalashda 43 dB ko'rsatkichga erishishi ma'lum bo'ldi. Akustik xususiyatlari bo'yicha u o'zi bilan bir xil qalinlikdagi gidrofob gipsli paz-grebensimon plitadan ustun turadi va shu kabi vazifani bajaruvchi gazobeton to'siq bloki singari qalinlikni 150 mm gacha oshirishni talab etmaydi.

2-jadval.

Ichki devorlar uchun materiallarni qiyosiy tahlili

Ko'rsatkich	Fibropenobetonli PGP	Gipsli PGP	Gazobeton blok	Keramzitbeton bloki	Beton toshi	Silikat blok
O'lchami (mm)	600x300x80	900x300x80	625x250x150	500x188x80	500x188x80	500x250x80
O'rtacha zichlik, kg/m ³	1200	1200	600	1400	1600	1850
Siqilishga mustahkamligi, MPa	3,6	5,0	5,0	6,5	6,5	13,1
Eng kam qalinlik, mm	80	80	150	80	80	80
Shovqinni yutish indeksi, dB	43	39	43	43	44	43
1 m ² massasi, kg	96,9	99,9	90,2	113,4	134,4	148,0
Yelim yordamida montaj qilish	xa	xa	xa	yoq	yoq	yoq
Yelim/qorishma sarfi, kg/m ²	2,0	2,0	3,7	7,2	7,2	1,4
Dastlabki narx indeksi, shartli birlik/m ³	5550	8700	3700	5600	5300	7500



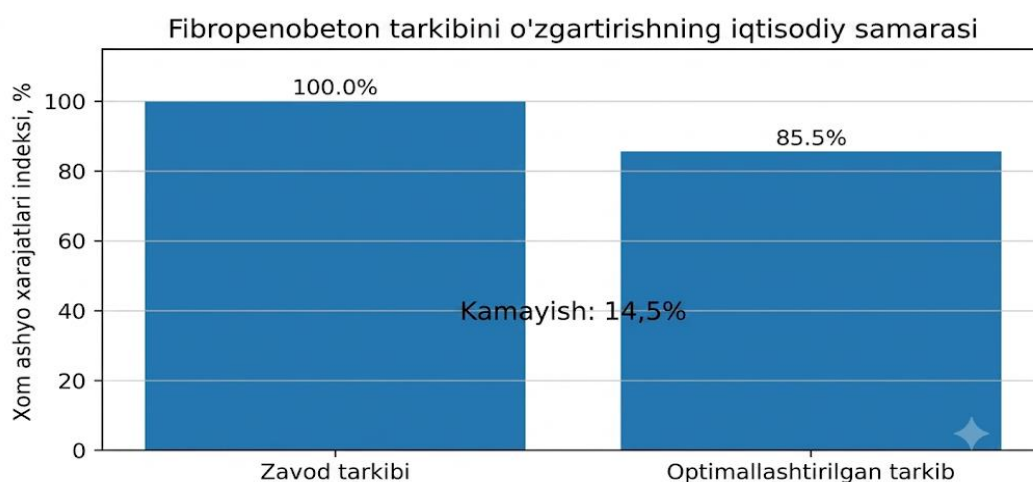
1-rasm. To'siq materiallarining massasi va akustik ko'rsatkichlari.

Vazni bo'yicha fibropenobeton gazobetondan yengilroq, biroq to'siqdevorning yupqaroqligi va montaj yelimi kamroq sarflanishi hisobiga yutadi. Kvartira loyihasida bu amaliy samara beradi: devor qalinligi 80 mm bo'lganda ham foydali maydon tejaladi, montaj ishlari esa qorishmaga teriladigan g'isht yoki toshlarga nisbatan tezroq va ozodaroq bajariladi. Seysmik hududlardagi ko'p qavatli qurilishda uning afzalligi beton va silikat to'siq bloklariga qaraganda inshootga tushadigan yuklamani kamaytirishi bilan ham bog'liq.

3-jadval.

Zavod va optimallashtirilgan tarkiblar uchun xomashyo sarfini taqqoslash

Ko'rsatkich	0,6% polipropilen tolasidan iborat tarkib	Gibrid tarkib: 0,2% PP + 0,4% BZ
Sement, t/m ³	0,475	0,300
Mineral kukun, t/m ³	0,205	0,300
Qum, t/m ³	0,400	0,480
Ko'pik hosil qiluvchi modda, l/m ³	1,500	1,500
Polipropilen fibra, kg/m ³	5,460	1,820
Bazalt tolasi, kg/m ³	-	11,200
Xomashyo tannarxi indeksi	100%	85,5%
Xomashyo tejamkorligi	-	taxminan 14,5%



2-rasm. Gibrid armaturaga o'tishda xomashyo xarajatlari indeksining pasayishi.

Takomillashtirilgan tarkib nafaqat cho'kishni kamaytiradi, balki xomashyo tannarxini ham pasaytiradi. Dastlabki hisob-kitoblarga ko'ra, 0,6% polipropilen fibrasi bo'lgan tarkibdan 0,2% PP + 0,4% BF tarkibiga o'tish 1 m³ uchun hisobiy xarajatlarni 3559 dan 3042 shartli birlikkacha, ya'ni taxminan 14,5% ga kamaytiradi. Yillik quvvati 7200 m³ bo'lgan liniya uchun bunday samara sezilarli yillik tejamkorlikka teng keladi. O'zbekiston sharoitida mutlaq qiymat sement, bazalt fibrasi va mineral kukunining mahalliy narxlariga bog'liq bo'ladi, ammo tarkibning nisbiy afzalligi sement sarfining kamligi va ikki turdagi tolaning samaraliroq ishlashi hisobiga saqlanib qoladi.

Paz-grebnli fibropenobeton plitalar texnologiyasi hududiy zavodning ishlab chiqarish modeliga yaxshi mos tushadi. Uskuna avtoklav liniyasidan ixchamroq, qimmatbaho bug' avtoklavini talab qilmaydi va yirik qurilish maydonlari yaqinida joylashtirilishi mumkin. O'zbekiston sharoitida bu transport xarajatlarini kamaytiradi hamda tuman bozorlarini to'sin (devor) materiallari bilan ta'minlashni osonlashtiradi.

Asosiy texnologik xavf-xatar plitalarning barvaqt qurib qolishi bilan bog'liq. Issiq havoda yangi quyilgan plitalarning ochiq sathi tezda namligini yo'qotadi, tsement qorishmasi esa hali yetarlicha pishiqlikka ega bo'lmaydi. Shu sababli ishlab chiqarish reglamentida plitalarni yopiq sharoitda qotirish, poddonlarni qadoqlash yoki plyonka bilan o'rash, jo'natishdagi namlikni 25% dan oshirmaslik va to'g'ridan-to'g'ri quyosh nuri tushmaydigan joyda saqlash kabi choralar ko'zda tutilishi lozim. Bu tadbirlar, ayniqsa, yozgi iqlim namlikning bug'lanishini keskin tezlashtiradigan Farg'ona vodiysi, Qashqadaryo, Surxondaryo va boshqa hududlar uchun muhim ahamiyatga ega.

To'siq devorning akustik ko'rsatkichlari faqat materialning o'zigagina bog'liq emas. Agar to'siq devor va yuk ko'taruvchi konstruktsiya o'rtasida elastik qistirma bo'lmasa yoki choklar zich to'ldirilmagan bo'lsa, binodagi haqiqiy shovqin izolyatsiyasi laboratoriya ko'rsatkichidan past bo'ladi. Shuning uchun material bilan birga konstruktiv yechimlar albomi ham taqdim etilishi kerak. Unda devorlarga mahkamlash, plitalarni shiftga tutashtirish, ichki burchaklarga ishlov berish, choklarni armaturalash va yelim choklariga qo'yiladigan talablar ko'rsatiladi.

Seysmik jihatlar ham puxta detallarga e'tibor berishni talab qiladi. Paz-grebnli plitalar yuk ko'tarmaydigan elementlar hisoblanadi, biroq ular binoda gorizontaal tebranishlar ta'sirida o'z tekisligidan chiqib ketmaydigan darajada mustahkamlanishi kerak. Fibropenobetonning silikat va beton bloklarga nisbatan yengilligi inersion yuklamalarni kamaytirsada, konstruktiv birikmalar va tirqishlar loyihachi tomonidan amaldagi me'yorlarga muvofiq belgilanishi lozim.

Mahalliy sanoat uchun nafaqat retsept, balki sifat nazorati tizimi ham muhim ahamiyatga ega. Ish boshida qum va mineral kukun donadorligi, sementning faolligi, ko'pik hosil qiluvchi modda konsentratsiyasi hamda fibra tolasining haqiqiy uzunligi nazorat qilinadi. Tayyor mahsulotning esa o'rtacha zichligi, namligi, mustahkamligi, tirnoq-paz birikmasi geometriyasi va ko'zga ko'rinadigan cho'kish yoriqlari yo'qligi tekshiriladi. Bunday yondashuv bilan ushbu material gips plitalar va og'ir qurilish toshlari orasidagi o'rinni egallashi mumkin.

Xulosa

Qalinligi 80 mm bo'lgan paz-grebnli fibropenobeton plitalardan O'zbekistondagi uy-joy qurilishida ichki to'siqlar uchun foydalanish mumkin, buning uchun ovoz izolyatsiyasi, mahkamlash va montaj sifatiga oid talablarga rioya etilishi shart.

Hajmiga nisbatan 0,2% polipropilen va 0,4% bazalt tolasi qo'shilgan mahalliyashtirilgan tarkib kam cho'kish, yetarli mustahkamlik va sement sarfining kamayishini birgalikda ta'minlaydi.

Gipsli paz-grebnli plita bilan taqqoslaganda, fibropenobeton mahsuloti ayni qalinlikda havoda tarqaladigan shovqinni izolyatsiyalashning yuqoriroq indeksini ko'rsatadi; beton va silikat toshlariga qaraganda esa yengilroq va qurilish maydonchasida oson ishlov beriladi.

Optimallashtirilgan retsepturaning iqtisodiy samarasi xomashyo xarajatlarining taxminan 14,5 foizga kamayishida ifodalanadi. O'zbekistonda sanoat miqyosida joriy etish uchun mutlaq qiymatlar mahalliy narxlar bo'yicha hisoblanishi kerak, biroq tarkibning nisbiy samaradorligi dastlabki tajriba ma'lumotlari bilan tasdiqlanadi.

Texnologiyaning ishonchliligi uchta shartga bog'liq: qorishmaning barqaror g'ovak strukturasiga, ikki turdagi tolaning bir tekis taqsimlanishiga hamda qolipga solingandan so'ng birinchi sutka davomida himoyalangan rejimda qotishiga.

Adabiyotlar

- [1]. Avtoklavsiz fibropenobeton va paz-grebensimon plitalar bo'yicha dissertatsiya ishining dastlabki eksperimental va ishlab chiqarish ma'lumotlari.
- [2]. SHNQ 2.01.08-24. Shovqindan himoya. O'zbekiston Respublikasi Milliy huquqiy axborot portali, 2025.
- [3]. QMQ 2.01.03-19. Seysmik hududlarda qurilish. O'zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi, 2019.
- [4]. SHNQ 2.08.01-24. Turar joy obyektlarini loyihalash. O'zbekiston Respublikasi Milliy huquqiy axborot portali, 2026.
- [5]. GOST 25485. G'ovak betonlar. Texnik shartlar.
- [6]. GOST 21520. G'ovak betonlardan yasalgan mayda devorbop bloklar. Texnik shartlar.
- [7]. O'zbekistonning milliy darajada belgilanadigan uchinchi hissasi. O'zbekiston iqlim profili, 2025.

**TURLI XIL ARMATURALARNING KO'PIKBETON BILAN TISHLASHISHINI
O'RGANISH**

A.B. Alimbaev

Qoraqalpoq davlat universiteti

Mas'ul muallif, e-mail: aybekalimbaev711@gmail.com

E-mail: aybekalimbaev711@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1226-6061>

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya: Ushbu maqolada O'zbekistonning quruq va issiq iqlim sharoitida energiya tejamkor bino va inshootlar qurilishida keng qo'llanilayotgan ko'pikbetonlarning turli xildagi armaturalar (metall va kompozit) bilan tishlashish mustahkamligi tadqiq etilgan. Tajribalarda mahalliy xomashyolar — Ohangaron va Quvasoy sementlari, Ohangaron qumi hamda mahalliy ko'pirtirgichlar asosida tayyorlangan D700 va D900 zichlikdagi ko'pikbetonlardan foydalanilgan. Davriy profilli po'lat armatura (A400 va A500C) hamda shisha-plastik kompozit armaturalarning (ASK) ko'pikbeton bilan tishlashish tabiati va siljish xarakteristikalarini pull-out (sug'urib olish) usuli orqali aniqlangan. Natijalar jadvallar va grafik bog'liqliklar shaklida umumlashtirilib, amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: Ko'pikbeton, tishlashish mustahkamligi, sug'urib olish sinovi, davriy profilli armatura, kompozit armatura, siljish, deformatsiya, energiya tejamkorlik.

Аннотация: В данной статье исследована прочность сцепления различных видов арматуры (металлической и композитной) с пенобетоном, широко применяемым при строительстве энергоэффективных зданий и сооружений в условиях сухого и жаркого климата Узбекистана. В экспериментах использовались пенобетоны плотностью D700 и D900, изготовленные на основе местного сырья — цементов из Ахангарана и Куvasая, ахангаранского песка и местных пенообразователей. Характер сцепления и характеристики сдвига стальной арматуры периодического профиля (A400 и A500C) и стеклопластиковой композитной арматуры (ASK) с пенобетоном были определены методом выдергивания (pull-out). Результаты обобщены в виде таблиц и графических зависимостей, на основе которых разработаны практические рекомендации.

Ключевые слова: Пенобетон, прочность сцепления, испытание на выдергивание, арматура периодического профиля, композитная арматура, сдвиг, деформация, энергоэффективность.

Abstract: This article investigates the bond strength between foam concrete—widely used in the construction of energy-efficient buildings and structures in Uzbekistan's dry and hot climate—and various types of reinforcement (metal and composite). The experiments utilized D700 and D900 density foam concretes prepared from local raw materials: Akhangaran and Kuvasay cements, Akhangaran sand, and local foaming agents. The bond behavior and slip characteristics of periodically profiled steel reinforcement (A400 and A500C) and glass-fiber reinforced polymer (GFRP) composite reinforcement with foam concrete were determined using the pull-out test method. The results are summarized in the form of tables and graphical dependencies, and practical recommendations have been developed.

Keywords: Foam concrete, bond strength, pull-out test, periodically profiled reinforcement, composite reinforcement, slip, deformation, energy efficiency.

1. KIRISH

O'zbekiston Respublikasida so'nggi yillarda energiya resurslarini tejash va binolarning issiqlik himoyasini kuchaytirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylandi. Respublikamizning keskin kontinental iqlimi — yozda havo haroratining $+45^{\circ}\text{C}$ dan oshishi va qishda -20°C gacha tushishi — tashqi to'suvchi konstruksiyalarda yuqori issiqlik izolyatsiyalash xususiyatiga ega bo'lgan yengil betonlarni qo'llashni taqozo etmoqda.

Ushbu turdagi materiallar orasida ko'pikbeton (foamed concrete) o'zining past issiqlik o'tkazuvchanligi, yengilligi va ekologik tozaligi bilan alohida ajralib turadi. Biroq, ko'pikbeton asosan g'ovakli strukturaga ega bo'lganligi sababli, uning mexanik mustahkamligi va eng muhimi, armatura bilan birgalikda ishlash (tishlashish) qobiliyati oddiy og'ir betonlarga nisbatan sezilarli darajada past bo'ladi.

Monolit va yig'ma ko'pikbetonli konstruksiyalarni loyihalashda armatura va betonning tishlashish mustahkamligi asosiy hisobiy parametr hisoblanadi. Bugungi kunda qurilish bozorida an'anaviy po'lat armaturalar bilan bir qatorda korroziyaga bardoshli va yengil bo'lgan shisha-plastik kompozit armaturalar (ASK) ham faol kirib kelmoqda. Ammo, ushbu turli xil tabiatga ega bo'lgan armaturalarning o'rta zichlikdagi konstruksion-issiqlik izolyatsion ko'pikbetonlar bilan tishlashish xarakteristikalari, ayniqsa O'zbekistonning mahalliy xomashyolari asosida tayyorlangan aralashmalarda yetarlicha o'rganilmagan.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — mahalliy xomashyolar asosida olingan D700 va D900 zichlikdagi ko'pikbetonlarning A400, A500C sinfidagi po'lat armaturalar va shisha-plastik kompozit armaturalar (ASK) bilan tishlashish mustahkamligini eksperimental baholash hamda tahlil qilishdan iborat.

2. METODOLOGIYA VA MATERIALLAR

2.1. Materiallar xarakteristikasi

Eksperimental tadqiqotlar uchun ko'pikbeton aralashmasi O'zbekistonda mavjud mahalliy materiallardan tayyorlandi:

- Sement: Ohangaronsement AJ tomonidan ishlab chiqarilgan Portlandsement CEM I 42.5N markasi.
- To'ldiruvchi: Ohangaron konining yuvilgan daryo qumi, maydalik moduli $M_r = 1.6$ (mayda qum).
- Ko'pirtirgich: Mahalliy korxonalar tomonidan ishlab chiqarilgan sintetik asosli "Penostrom" ko'pirtiruvchi moddasi.

Tadqiqotda eng ko'p qo'llaniladigan ikki xil zichlikdagi ko'pikbeton tarkibi tanlab olindi (1-jadval).

1-jadval

Ko'pikbeton aralashmalarining xomashyo sarfi (1 m^3 uchun)

Tarkib kodi	Loyihaviy zichlik, kg/m^3	Sement, kg	Qum, kg	Suv, litr	Ko'pirtirgich, litr	28 kunlik siqilishdagi mustahkamligi, MPa
KB-D700	700	410	220	185	1.2	3.2
KB-D900	900	480	330	210	0.9	5.8

2.2. Armatura turlari

Tishlashish xususiyatlarini qiyosiy tahlil qilish uchun diametri $d = 12\text{ mm}$ bo'lgan quyidagi armatura turlari tanlandi:

1. A400 sinfli po'lat armatura: Issiq rulonlangan, o'roqsimon davriy profili (O'zDST ISO 6935-2 bo'yicha).
2. A500C sinfli po'lat armatura: Termomexanik mustahkamlangan, xochsimon davriy profili.
3. ASK (Shisha-plastik kompozit armatura): Shisha tolali, ustidan spiral sim o'ralgan va qum sepilgan yuza profili (GOST 31938 bo'yicha).

2.3. Sinov uslubi

Armaturaning beton bilan tishlashishini aniqlash RILEM standarti va GOST 24452 talablariga muvofiq "Pull-out" (sug'urib olish) usuli yordamida amalga oshirildi. Buning uchun 150-150-150 mm o'lchamli kub qoliplar markaziga armatura sterjenlari joylashtirildi.

Armaturaning beton ichiga kirib turish (ankoraj) uzunligi barcha namunalar uchun bir xil — $l_{an} = 5d = 60$ mm qilib belgilandi. Armaturaning qolgan qismi betonga tegmasligi uchun maxsus plastik trubka bilan izolyatsiya qilindi. Namunalar 28 kun davomida normal namlik va 20 ± 2 haroratda saqlandi.

Sinovlar "MMS-100" universal gidravlik pressida amalga oshirildi. Sug'urib olish kuchi (P) va armaturaning betondan siljishi (Δ) maxsus datchiklar (LVDT) yordamida avtomatik ravishda qayd etib borildi.

Tishlashish kuchlanishi (τ) quyidagi klassik formula yordamida hisoblandi:

$$\tau_{bm} = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot l_{an}}$$

Bu yerda:

- P — sug'urib olish kuchi, N;
- d — armatura diametri, mm (12 mm);
- l_{an} — ankoraj uzunligi, mm (60 mm).

3. NATIJALAR VA ULARNING TAHLILI

Eksperimental tadqiqotlar natijasida har bir armatura turi va ko'pikbeton zichligi uchun maksimal sug'urib olish kuchi hamda unga mos keluvchi tishlashish mustahkamligi aniqlandi (2-jadval).

2-jadval

Sug'urib olish sinovlari natijalari

Beton turi	Armatura turi	Maksimal kuch (Pmax), kN	Tishlashish mustahkamligi (τ_{bm}), MPa	Namuna buzilish turi
KB-D700	A400 (Po'lat)	4.97	2.20	Betonning chok bo'ylab kesilishi
	A500C (Po'lat)	5.54	2.45	Betonning chok bo'ylab kesilishi
	ASK (Kompozit)	3.62	1.60	Armatura profilning siyqalanishi
KB-D900	A400 (Po'lat)	8.36	3.70	Betonning yorilib ketishi (Splitting)
	A500C (Po'lat)	9.38	4.15	Betonning yorilib ketishi (Splitting)
	ASK (Kompozit)	6.44	2.85	Profilning siljishi va kesilishi

Natijalardan ko‘rinib turibdiki, ko‘pikbeton zichligi D700 dan D900 gacha (ya’ni 28.5% ga) ortganda, tishlashish mustahkamligi barcha armatura turlari uchun o‘rtacha 65-70% ga oshgan. Bu ko‘pikbetonning g‘ovakligi kamayishi va armatura atrofidagi matrisa sement toshining mikromustahkamligi ortishi bilan izohlanadi.

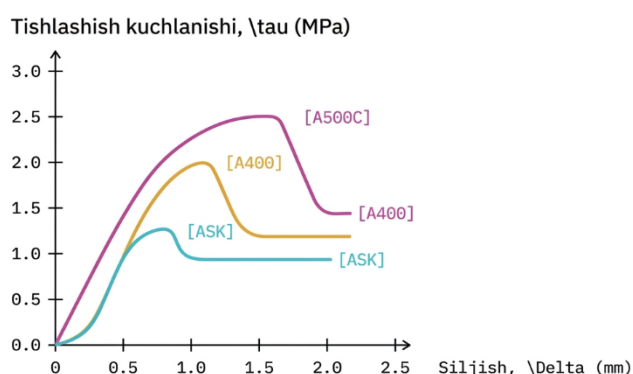
Muhim qonuniyat: Barcha seriyalarda A500C sinfidagi po‘lat armatura eng yuqori tishlashish ko‘rsatkichini namoyon qildi. ASK (kompozit) armatura esa po‘lat armaturalarga nisbatan o‘rtacha 25-35% pastroq tishlashish mustahkamligiga ega.

4. GRAFIK TAHLILLAR

Armaturaning betondan sug‘urilib chiqish jarayonidagi deformatsiyalanish xarakterini tushunish uchun tishlashish kuchlanishining (τ) siljish miqdoriga (Δ) bog‘liqlik grafiklari tuzildi.

4.1. KB-D700 uchun "Tishlashish kuchlanishi — Siljish" bog‘liqligi (τ - Δ)

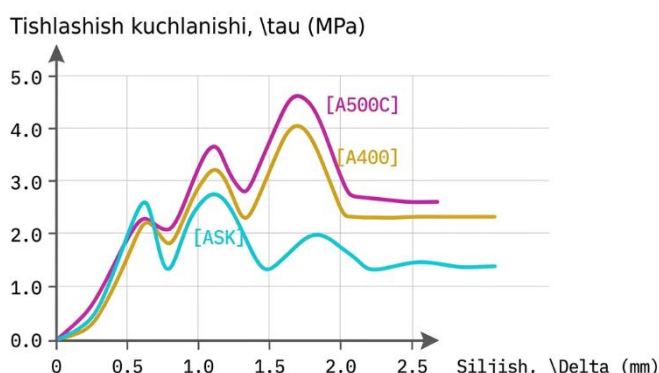
Quyidagi grafikda KB-D700 yengil ko‘pikbetonida armatura turlarining yuklanish ostida siljish tabiati tasvirlangan:



Grafik tasviri sharhi: Grafikdan ko‘rinadiki, ASK armaturada plastik siljish erta boshlanadi va maksimal kuchlanish nuqtasi (1.60 MPa) kichik siljishlarda sodir bo‘ladi. A500C armatura esa o‘zining keskin qovurg‘ali profili hisobiga ko‘pikbeton matrisasini uzoqroq ushlab turadi va maksimal kuchlanish 1.2 mm} siljish atrofida kuzatiladi.

KB-D900 uchun "Tishlashish kuchlanishi — Siljish" bog‘liqligi (τ - Δ)

Zichligi yuqoriroq bo‘lgan KB-D900 konstruksion ko‘pikbetonida jarayon sezilarli darajada farq qiladi:



Grafik tasviri sharhi: KB-D900 tarkibida beton ancha mo‘rt bo‘lganligi sababli, po‘lat armaturalar (A400 va A500C) maksimal nuqtaga yetgandan so‘ng grafik chizig‘i keskin pastga tushadi. Bu beton kubining ichki yorilishi (splitting) sodir bo‘lganligidan dalolat beradi. ASK armaturada esa elastikroq profil hisobiga yorilish nisbatan yumshoqroq kechadi.

MUHOKAMA

O'zbekiston iqlim sharoitida quyosh radiatsiyasi va quruq havo tufayli ko'pikbeton tarkibidagi namlik tez bug'lanib ketish xavfi mavjud. Bu esa armatura va beton kontakt zonasi (interfacial transition zone - ITZ) atrofida mikrostrukturaviy bo'shliqlar hosil bo'lishiga olib kelishi mumkin.

Eksperimentlar ko'rsatdiki:

1. Mexanik tishlashish (Mechanical interlocking): Ko'pikbetonlarda tishlashish mustahkamligining 75-80% qismini armatura qovurg'alarining beton g'ovaklari va devorlariga tiralishi (mexanik tishlashish) tashkil etadi. Sement toshining armatura yuzasiga yopishishi (adgeziya) esa g'ovaklik sababli juda past (20% gacha).

2. A500C va A400 qiyosiy tahlili: A500C armaturasining xochsimon profili ko'pikbetonning g'ovakli devorlariga bosimni bir tekisda taqsimlaydi, bu esa A400 ga nisbatan tishlashishni 11-12% ga oshiradi.

3. ASK kompozit armatura muammosi: Shisha-plastik armaturaning elastiklik moduli po'latga nisbatan 4-5 marta past bo'lganligi sababli, yuklanish ostida sterjen ko'proq deformatsiyalanadi. Natijada ko'pikbeton mikro'g'ovaklari tezroq eziladi va armatura tezroq sug'urilib chiqadi. Biroq, ASK ning mutlaq afzalligi — uning O'zbekistonning sho'rlangan tuproq va issiq iqlim sharoitida korroziyaga umuman uchramasligidir.

Ko'pikbetonli konstruksiyalarni loyihalash bo'yicha amaliy tavsiyalar

Tadqiqot natijalari va respublikamizdagi amaldagi qurilish me'yorlari (KMK, ShNQ) tahlilidan kelib chiqib, quyidagi amaliy tavsiyalar taklif etiladi:

- Ankoraj uzunligini oshirish: Ko'pikbetonli elementlarda (masalan, monolit uy-joy qurilishidagi to'ldiruvchi bloklar va yuk ko'taruvchi joriy poydevor to'sinlarida) po'lat armaturalarning ankoraj (birikish) uzunligini oddiy og'ir betonga nisbatan kamida 2.0-2.5 marta oshirish zarur. ASK armatura uchun esa bu ko'rsatkichni 3.0 martagacha oshirish tavsiya etiladi.

- Beton zichligini tanlash: Yuk ko'taruvchi yoki seysmik hududlardagi egiluvchi ko'pikbetonli elementlar uchun zichligi D800 dan past bo'lmagan konstruksion ko'pikbetonlardan foydalanish shart. D700 va undan past zichliklar faqat sof issiqlik izolyatsiyasi sifatida ishlatilishi lozim.

- Kimyoviy qo'shimchalar: O'zbekistonning yozgi quruq-issiq iqlimida ko'pikbeton quyishda tarkibga namlikni saqlovchi (water-retaining) qo'shimchalar va mikrotolalar (polipropilen tolasi — fibramatoli) qo'shish tavsiya etiladi. Bu armatura atrofidagi beton matrisasining qisqarish (usadka) yoriqlarini kamaytiradi va tishlashishni 15-20% ga oshiradi.

XULOSA

Turli xil armaturalarning mahalliy xomashyolar asosida tayyorlangan ko'pikbeton bilan tishlashishini o'rganish bo'yicha o'tkazilgan kompleks tadqiqotlar quyidagi xulosalarga kelish imkonini berdi:

1. Ko'pikbeton zichligi D700 dan D900 gacha oshirilganda, armatura bilan tishlashish mustahkamligi mos ravishda 2.20-2.45 MPa dan 3.70-4.15 MPa gacha ortadi. Bu ko'pikbetonning zichligi tishlashish kuchiga to'g'ridan-to'g'ri ta'sir etuvchi asosiy omil ekanligini isbotlaydi.

2. An'anaviy po'lat armaturalar ichida A500C sinfi ko'pikbeton matrisasi bilan eng yaxshi mexanik bog'lanishni ta'minlaydi. Uning ko'rsatkichlari A 400 ga nisbatan 11-12% yuqoridir.

3. Shisha-plastik kompozit armatura (ASK) ko'pikbetonda po'latga qaraganda pastroq tishlashish mustahkamligini namoyon qilsa-da (1.60-2.85 MPa), u korroziyaga bardoshlilik hisobiga O'zbekistonning iqlim sharoitida istiqbolli hisoblanadi. Biroq, uni qo'llashda loyihalarda ankoraj uzunligini oshirish va maxsus qum qoplamali profillardan foydalanish talab etiladi.

4. O'zbekiston sharoitida monolit ko'pikbetonli konstruksiyalarning uzoq muddatli mustahkamligini ta'minlash uchun aralashma tarkibiga plastiklashtiruvchi va polimer tolali qo'shimchalarni kiritish maqsadga muvofiqdir.

Adabiyotlar

- [1]. O'zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi. KMK 2.03.01-20 "Beton va temir-beton konstruksiyalar". Toshkent, 2020.
- [2]. Asqarov, B.A., Axmedov, S.R. "Yengil va g'ovakli betonlar texnologiyasi". Toshkent: Ilm-ziyo, 2018. - 180 b.
- [3]. RILEM TC 162-RBM. "Bond test for fibre reinforced concrete". Materials and Structures, Vol. 33, 2000, pp. 551-562.
- [4]. GOST 24452-80. "Betoni. Metodi opredeleniya prizmennoy prochnosti, modulya uprugosti i koeffitsiyenta Puassona". Moskva, 2018.
- [5]. GOST 31938-2012. "Armatura kompozitnaya polimernaya dlya armirovaniya betonnix konstruksiy". Moskva, 2014.

VIBROAKTIVLASHTIRILGAN MAYIN TUYILGAN BOG'LOVCHILARNING SEMENT TOSHI TUZILISHI VA TA'MIRLASH BETONLARI XOSSALARIGA TA'SIRI

E. Ismailov

Urganch davlat universiteti, Xorazm, O'zbekiston
Mas'ul muallif, e-mail: erkinbayismailov@gmail.com
E-mail: erkinbayismailov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4152-2109>
(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya. Maqolada portlandsement, barxan qumi va S-3 superplastifikatoridan tashkil topgan mayin tuyilgan vibroaktivlashtirilgan bog'lovchilarning sement toshi tuzilishi hamda ta'mirlash betonlari xossalriga ta'siri tahlil qilindi. Tadqiqotda TMV-85, TMV-75 va TMV-65 tarkiblarining solishtirma sirt maydoni, normal quyugligi, suv yutilishi, g'ovaklik parametrlari hamda 28 kunlik mustahkamlik ko'rsatkichlari solishtirildi. Natijalar 10 daqiqalik vibrofaollashtirish sharoitida TMV-75 bog'lovchisi optimal disperslik va past suv talabini ta'minlashini ko'rsatadi. U PS asosidagi tarkibga nisbatan sement toshi g'ovakligini kamaytiradi, suv yutilishini pasaytiradi va ta'mirlash tarkibining siqilishdagi mustahkamligini sezilarli oshiradi. Maqola yakunida TMV asosidagi tarkiblarni ishlab chiqarish va beton-temirbeton konstruksiyalarni ta'mirlashda qo'llash uchun texnologik tavsiyalar berildi.

Kalit so'zlar: vibroaktivatsiya, mayin tuyilgan bog'lovchi, barxan qumi, portlandsement, S-3, sement toshi, g'ovaklik, suv yutilishi, TMV-75, ta'mirlash betoni, sovuqqa chidamlilik.

Abstract. The article analyzes the effect of fine-ground vibroactivated binders consisting of Portland cement, dune sand and S-3 superplasticizer on cement stone structure and the properties of repair concretes. TMV-85, TMV-75 and TMV-65 binders were compared by specific surface area, normal consistency, water absorption, pore characteristics and 28-day compressive strength. The results show that, under 10-minute vibroactivation, the TMV-75 binder provides an optimal combination of dispersion and reduced water demand. Compared with the Portland cement reference, it decreases cement stone porosity, reduces water absorption and significantly increases compressive strength of repair concrete. The paper concludes with technological recommendations for production and application of TMV-based compositions in repair of concrete and reinforced concrete structures.

Keywords: vibroactivation, fine-ground binder, dune sand, Portland cement, S-3, cement stone, porosity, water absorption, TMV-75, repair concrete, frost resistance.

Аннотация. В статье анализируется влияние мелкоизмельченных виброактивированных вяжущих, состоящих из портландцемента, барханного песка и суперпластификатора С-3, на структуру цементного камня и свойства ремонтных бетонов. В исследовании сравнивались удельная поверхность, нормальная плотность, водопоглощение, параметры пористости и 28-дневные показатели прочности составов ТМВ-85, ТМВ-75 и ТМВ-65. Результаты показывают, что в условиях 10-минутной виброактивации вяжущее ТМВ-75 обеспечивает оптимальную дисперсность и низкую водопотребность. Оно уменьшает пористость цементного камня, снижает водопоглощение и значительно повышает прочность ремонтного состава при сжатии по сравнению с составом на основе ПЦ. В заключение статьи даны технологические рекомендации по

производству составов на основе ТМВ и их применению при ремонте бетонно-железобетонных конструкций.

Ключевые слова: виброактивация, тонкомолотое вяжущее, барханный песок, портландцемент, С-3, цементный камень, пористость, водопоглощение, ТМВ-75, ремонтный бетон, морозостойкость.

KIRISH

Ta'mirlash betonlarining sifatini belgilovchi asosiy omillardan biri bog'lovchi tizimning tarkibi va dispersligidir. Mayda donali betonlarda to'ldiruvchi zarrachalarining solishtirma yuzasi katta bo'lgani sababli suv sarfi ortadi, aralashmaning qovushqoqligi kuchayadi va qotish jarayonida kirishish deformatsiyalari paydo bo'ladi. Ushbu muammolarni kamaytirish uchun bog'lovchini mexanik yoki vibromexanik faollashtirish, mineral qo'shimcha va superplastifikatorlarni birgalikda qo'llash samarali yo'l hisoblanadi.

Barxan qumlari tarkibidagi juda mayda fraksiyalar oddiy to'ldiruvchi sifatida qo'llanganda salbiy ta'sir ko'rsatadi, biroq ular mayin tuyilgan bog'lovchi tizimida faol mineral komponent vazifasini bajarishi mumkin. Vibroaktivatsiya jarayonida portlandsement klinkeri, barxan qumi va S-3 superplastifikatori birgalikda maydalanib, granulometrik qadoqlanish va zarrachalar sirtidagi faollik yaxshilanadi. Maqolaning maqsadi - bunday bog'lovchilarning sement toshi g'ovakligi, suv yutilishi va ta'mirlash betonlari mustahkamligiga ta'sirini tizimlashtirishdan iborat.

NAZARIY ASOS VA ADABIYOTLAR TAHLILI

Sement toshi strukturasining shakllanishi klinker minerallarining gidratatsiyasi, dispers zarrachalarining qadoqlanishi, kapillyar g'ovaklarning hajmi va kimyoviy qo'shimchalar ta'siriga bog'liq. Mayin tuyilgan tizimlarda zarracha o'lchami kamayishi bilan gidratatsiya tezligi ortadi, biroq haddan tashqari disperslik suv talabini oshirishi mumkin. Shu sababli faollashtirish davomiyligi va tarkibdagi mineral qo'shimcha miqdorini optimallashtirish talab qilinadi [1-3].

Vibromexanik faollashtirishning afzalligi shundaki, u faqat maydalash emas, balki zarrachalar sirtida defektlar va yuqori energiyali markazlar hosil qilish orqali reaktivlikni oshiradi. Barxan qumining kalsit, dala shpati va boshqa nisbatan yumshoq minerallari 300-500 m²/kg solishtirma yuzada faolroq komponentga aylanishi mumkin. Natijada sement toshida zichroq matritsa shakllanadi, kapillyar bo'shliqlar kamayadi va suv shimuvchanlik pasayadi [4].

Superplastifikatorlarning qo'shilishi suv-sement nisbatini kamaytiradi, shu bilan birga aralashmaning texnologik qulayligini saqlaydi. Polimer va gidrofob qo'shimchalar esa qotgan kompozitda kontakt zonani mustahkamlab, sovuqqa chidamlilik va suvga bardoshlilikni oshiradi. Shuning uchun ta'mirlash betonlarida portlandsement-mineral qo'shimcha-superplastifikator-polimer tizimining birgalikdagi ta'siri alohida ahamiyatga ega.

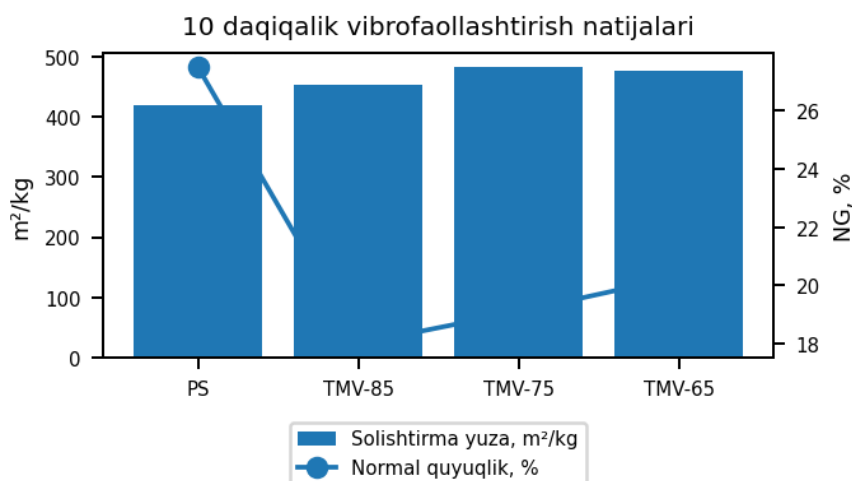
MATERIAL VA METODLAR

Tahlil uchun PS, TMV-85, TMV-75 va TMV-65 bog'lovchilari tanlandi. Ular portlandsement, barxan qumi va S-3 superplastifikatori nisbatlari bilan farqlanadi. Bog'lovchilar BM-20 uskunasi 10 va 20 daqiqa davomida vibrofaollashtirilgan variantlar bo'yicha baholandi. Asosiy ko'rsatkichlar sifatida solishtirma sirt maydoni, normal quyuvlik, haqiqiy zichlik, suv yutilishi va g'ovaklik hajmi olindi.

Jadval 1

Vibrofaollashtirilgan mayin tuyilgan bog'lovchilar tarkibi

Bog'lovchi	PS, %	Barxan qumi, %	S-3, %	Solishtirma yuza, m ² /kg
PS	100	—	—	420
TMV-85	84	15	1,0	454
TMV-75	74	25	1,0	482
TMV-65	64	35	1,0	476



1-rasm. 10 daqiqalik vibrofaollashtirishda disperslik va normal quyuklikning o'zgarishi.

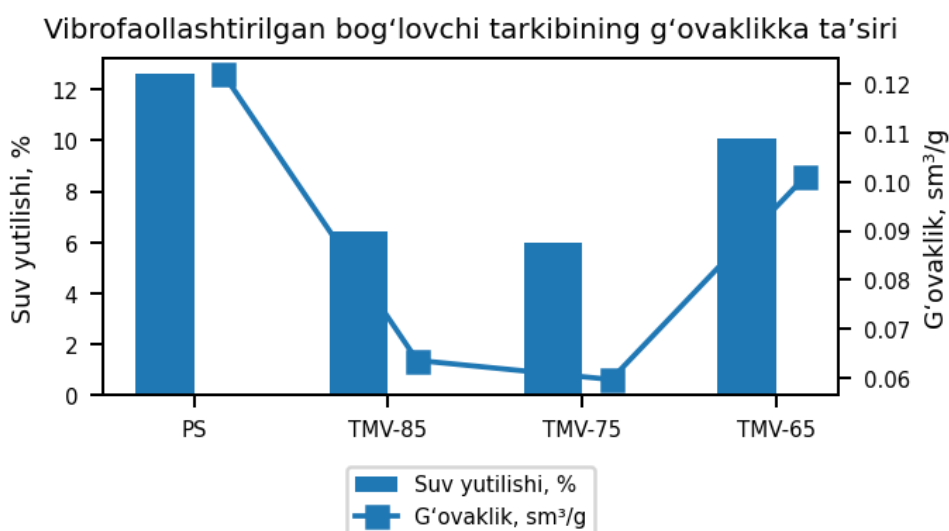
NATIJAR VA MUHOKAMA

10 daqiqalik vibrofaollashtirishda oddiy portlandsementning solishtirma yuzasi 420 m²/kg va normal quyukligi 27,5% bo'lgan. Barxan qumi va S-3 qo'shilgan TMV tizimlarida solishtirma yuza 454-482 m²/kg oralig'iga ko'tarildi, normal quyuklik esa 18,0-20,3% gacha kamaydi. Bunday natija superplastifikatorning disperslovchi ta'siri va mineral komponentlarning qadoqlanish samarasi bilan izohlanadi. TMV-75 varianti eng yuqori solishtirma yuzaga ega bo'lishi bilan birga suv talabining keskin oshib ketmasligini ta'minlaydi.

Jadval 2

Bog'lovchi tarkibining sement toshi g'ovakligi va suv yutilishiga ta'siri

Bog'lovchi	NG, %	Suv yutilishi, %	G'ovaklik, sm³/g	Izoh
PS	27,5	12,6	0,122	nazorat
TMV-85	18,0	6,4	0,0636	suv talabi past
TMV-75	19,1	6,0	0,0597	optimal zichlik
TMV-65	20,3	10,1	0,1010	qum ulushi yuqori



2-rasm. Bog'lovchi tarkibi bo'yicha suv yutilishi va umumiy g'ovaklikning o'zgarishi.

Sement toshidagi eng muhim natija TMV-75 tarkibida kuzatildi: suv yutilishi 6,0%, umumiy g'ovaklik esa 0,0597 sm³/g ni tashkil etdi. Nazorat PS namunasi bilan solishtirilganda suv yutilishi taxminan ikki baravar, g'ovaklik esa 50% dan ortiq kamaygan. TMV-65 tarkibida barxan qumi ulushi yuqoriroq bo'lgani uchun normal quyuqlik va suv yutilishi qayta ortadi; bu mineral qo'shimchani optimal miqdori mavjudligini tasdiqlaydi.

Vibrofaollashtirilgan bog'lovchi ta'mirlash betonlarida ham sezilarli samara berdi. PS asosidagi nazorat tarkibida 28 sutkadan keyingi siqilishdagi mustahkamlik 50,7 MPa bo'lgan bo'lsa, TMV-75 asosidagi tarkibda bu qiymat 76,2 MPa ga yetdi. Suv sarfi 240 kg/m³ dan 156 kg/m³ gacha kamaydi, beton qorishmasining harakatchanligi esa 10 sm dan 18 sm gacha oshdi. Bu past suv-sement nisbati bilan birga yuqori ishlov berish qulayligini olish mumkinligini ko'rsatadi.

Jadval 3

PS va TMV-75 asosidagi ta'mirlash betonlarining asosiy ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	O'lchov	PS asosida	TMV-75 asosida	Samara
Bog'lovchi sarfi	kg/m ³	540	520	klinker ulushi kamayadi
Suv sarfi	kg/m ³	240	156	S/S pasayadi
Harakatchanlik	sm	10	18	joylashuvchanlik oshadi
Zichlik	kg/m ³	2200	2216	zich tuzilma
R28	MPa	50,7	76,2	mustahkamlik oshadi

Ekspluatatsion ko'rsatkichlar ham TMV asosidagi tarkiblarning afzalligini ko'rsatadi. Tajriba ma'lumotlarida TMV-75 va kimyoviy qo'shimchalar kombinatsiyasi qo'llangan tarkiblarda sovuqqa chidamlilik F300 darajasiga yetgan, sovuqqa chidamlilikdan keyingi mustahkamlik koeffitsiyenti 0,90-0,91 oralig'ida bo'lgan. Suv shimuvchanlik 4,4-4,6% gacha kamayishi ta'mirlash qatlamining namlik ta'siriga nisbatan barqarorroq bo'lishini bildiradi. Bunday xossalar armatura korroziyasi va muzlash-erish sikllari xavfi mavjud bo'lgan muhitlarda muhimdir.

ТЕХНОЛОГИК ТАВСИЯЛАР

Mayin tuyilgan bog'lovchini tayyorlashda faollashtirish davomiyligini nazorat qilish zarur. 10 daqiqalik vibrofaollashtirish TMV-75 uchun yetarli disperslik va past suv talabini ta'minlaydi; 20 daqiqagacha uzaytirish ayrim ko'rsatkichlarni oshirishi mumkin, lekin suv talabi va energiya sarfi ham ortadi. Shuning uchun ishlab chiqarish sharoitida optimal vaqtni iqtisodiy va texnologik mezonlar bo'yicha tanlash kerak.

Qorishma tayyorlashda avval quruq komponentlar bir jinsli holga keltiriladi, so'ngra suv va plastifikator bosqichma-bosqich qo'shiladi. Ta'mirlanadigan sirt mustahkam, changsiz va yetarli namlangan bo'lishi, biroq erkin suv qatlamisiz qolishi lozim. Qorishma zich joylashtirilgach, dastlabki qotish davrida namlikning keskin yo'qolishi oldini olinadi. Polimer-gidrofob modifikatsiyalangan tarkiblarda qotish rejimi havo-quruq sharoit va namlikni saqlash bosqichlari bilan muvofiqlashtiriladi.

ХУЛОСА

Portlandsement-barxan qumi-S-3 tizimining vibrofaollashtirilishi sement toshi tuzilishini zichlashtiradi va oddiy PS bilan solishtirganda suv yutilishi hamda umumiy g'ovaklikni sezilarli kamaytiradi.

TMV-75 tarkibi 74% portlandsement, 25% barxan qumi va 1% S-3 nisbatida eng muvozanatli natija berdi: solishtirma yuza 482 m²/kg, normal quyuqlik 19,1%, suv yutilishi 6,0% va g'ovaklik 0,0597 sm³/g bo'ldi.

TMV-75 asosidagi ta'mirlash betonida suv sarfi kamayishi, harakatchanlik oshishi va 28 kunlik mustahkamlikning 76,2 MPa ga yetishi bunday bog'lovchilarni konstruktiv ta'mirlash

ishlarida qo'llash uchun istiqbolli qiladi. Kompleks modifikatsiya mahalliy barxan qumlaridan samarali foydalanish va sement klinkeri ulushini qisqartirish imkonini beradi.

Adabiyotlar

- [1]. Uzaeva A.A. Kompleksnye remontnye sostavy na osnove barkhannogo peska. Dissertatsiya, Groznyy, 2020.
- [2]. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona. Moskva: ASV, 2011.
- [3]. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh. Kompozitsionnye vyazhushchie i strukturoobrazovanie stroitel'nykh kompozitov. Belgorod, 2012.
- [4]. Solomatov V.I. Kompozitsionnye stroitel'nye materialy i konstruksii. Moskva, 1986.
- [5]. Bataev D.K-S., Murtazaev S-A.Yu. Effektivnye melkozernistye betony na aktivirovannykh vyazhushchikh. Groznyy, 2016.
- [6]. GOST 310.3-76. Tsementy. Metody opredeleniya normal'noy gustoty, srokov skhvatyvaniya i ravnomernosti izmeneniya ob'ema.
- [7]. GOST 10180-2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nyim obraztsam.
- [8]. GOST 12730.3-2020. Betony. Metod opredeleniya vodopogloshcheniya.
- [9]. GOST 10060-2012. Betony. Metody opredeleniya morozostoykosti.
- [10]. S-3 superplastifikatori va AKREMOS 101 qo'shimchalarining texnik tavsiflari.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СТЕНОВЫХ АРБОЛИТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ КОРНЯ СОЛОДКИ

В.М. Цой, Ш.Г. Эшбеков, А.О. Жумагелдиев

Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

E-mail: volodya_tsoy@inbox.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5945-2565>

E-mail: sh.eshbekov77@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4916-2577>

E-mail: jumageldiyevaziz@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3686-5695>

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация. В статье представлена комплексная оценка арболитобетонных блоков, изготовленных с применением отходов корня солодки в качестве органического заполнителя. Исследованы три опытных состава АПБ-1, АПБ-2 и АПБ-3, различающиеся расходом цемента М500, микрокремнезёма и золоминеральной добавки. Определены прочность при сжатии, водопоглощение, коэффициент размягчения, теплопроводность, усадка, отклонения геометрических размеров и сохранение прочности после транспортно-монтажного моделирования. Для однослойной стены толщиной 300 мм выполнен расчёт сопротивления теплопередаче. Установлено, что состав АПБ-2 обеспечивает наиболее сбалансированное сочетание свойств: прочность при сжатии 2,58 МПа, водопоглощение 30%, коэффициент размягчения 0,88, теплопроводность 0,137 Вт/(м·°С), усадку 0,59 мм/м и коэффициент сохранения прочности 0,96. Термическое сопротивление слоя АПБ-2 составляет 2,19 м²·°С/Вт, а суммарное сопротивление теплопередаче стены - 2,35 м²·°С/Вт.

Ключевые слова: арболитобетон, отходы корня солодки, органический заполнитель, микрокремнезём, золоминеральная добавка, прочность, водопоглощение, теплопроводность, термическое сопротивление, стеновые блоки.

Annotatsiya. Maqolada qizilmiya ildizi chiqindilaridan organik to'ldiruvchi sifatida foydalanib tayyorlangan arbolitbeton bloklarning kompleks xossalari baholandi. Sement M500, mikrokretnnezem va kul-mineral qo'shimchasi sarfi bilan farqlanuvchi APB-1, APB-2 va APB-3 tajriba tarkiblari o'rganildi. Siqilishdagi mustahkamlik, suv shimuvchanlik, yumshash koeffitsiyenti, issiqlik o'tkazuvchanligi, kirishish, geometrik o'lchamlarning og'ishi hamda transport-montaj ta'siri modellastirilgandan keyingi mustahkamlikning saqlanishi aniqlandi. Qalinligi 300 mm bo'lgan bir qatlamli devor uchun issiqlik uzatishga qarshilik hisoblandi.

APB-2 tarkibi eng muvozanatli natijalarni ko'rsatdi: siqilishdagi mustahkamlik 2,58 MPa, suv shimuvchanlik 30%, yumshash koeffitsiyenti 0,88, issiqlik o'tkazuvchanligi 0,137 W/(m·°C), kirishish 0,59 mm/m va mustahkamlikni saqlash koeffitsiyenti 0,96 ni tashkil etdi. APB-2 qatlamining hisobiy termik qarshiligi 2,19 m²·°C/W, devorning umumiy issiqlik uzatishga qarshiligi esa 2,35 m²·°C/W bo'ldi.

Kalit so'zlar: arbolitbeton, qizilmiya ildizi chiqindisi, organik to'ldiruvchi, mikrokremnezem, kul-mineral qo'shimcha, mustahkamlik, suv shimuvchanlik, issiqlik o'tkazuvchanlik, termik qarshilik, devor bloklari.

Abstract. The paper presents a comprehensive assessment of wood-concrete blocks produced using licorice root waste as an organic aggregate. Three experimental mixtures, APB-1, APB-2 and APB-3, differing in the contents of M500 cement, silica fume and an ash-mineral additive, were studied. Compressive strength, water absorption, softening coefficient, thermal conductivity, shrinkage, dimensional deviations and strength retention after simulated transport and installation were determined. Heat-transfer resistance was calculated for a 300 mm single-layer wall. APB-2 provided the most balanced performance: compressive strength of 2.58 MPa, water absorption of 30%, a softening coefficient of 0.88, thermal conductivity of 0.137 W/(m·°C), shrinkage of 0.59 mm/m and a strength-retention coefficient of 0.96. The calculated thermal resistance of the APB-2 layer was 2.19 m²·°C/W, and the total wall resistance was 2.35 m²·°C/W.

Keywords: wood concrete, licorice root waste, organic aggregate, silica fume, ash-mineral additive, compressive strength, water absorption, thermal conductivity, thermal resistance, wall blocks.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие ресурсосберегающих строительных материалов связано с вовлечением растительных отходов в состав цементных композитов. Арболитобетон сочетает пониженную среднюю плотность и теплопроводность с возможностью изготовления стеновых блоков без энергоёмкой автоклавной обработки. Вместе с тем органические заполнители характеризуются повышенным водопоглощением и содержанием экстрактивных веществ, способных замедлять гидратацию цемента и ухудшать контактную зону «заполнитель - цементная матрица» [5-10].

Предварительная очистка, водная экстракция, минерализация и гидрофобизация растительного заполнителя позволяют снизить отрицательное влияние органических соединений. Дополнительное введение микрокремнезёма и золоминеральной добавки направлено на уплотнение цементной матрицы, уменьшение капиллярной проницаемости и стабилизацию геометрических параметров изделий.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью работы является определение рационального состава арболитобетонных блоков на основе отходов корня солодки по комплексу прочностных, влажностных, деформационных и теплотехнических показателей.

Для достижения цели были решены следующие задачи: сопоставлены три опытных состава; определены прочность при сжатии, водопоглощение, коэффициент размягчения, теплопроводность и усадка; оценена стабильность геометрических размеров и сохранение прочности после транспортно-монтажного моделирования; рассчитано сопротивление теплопередаче однослойной стены толщиной 300 мм.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В качестве органического заполнителя использовали отходы переработки корня солодки. Подготовка включала механическую очистку и фракционирование, водную экстракцию, минерализацию, гидрофобизацию и последующее влажностное твердение сформованных изделий. Минеральная часть состояла из портландцемента М500, микрокремнезёма и золоминеральной добавки.

Технологическая схема получения стеновых блоков из арболитобетона на основе отходов корня солодки

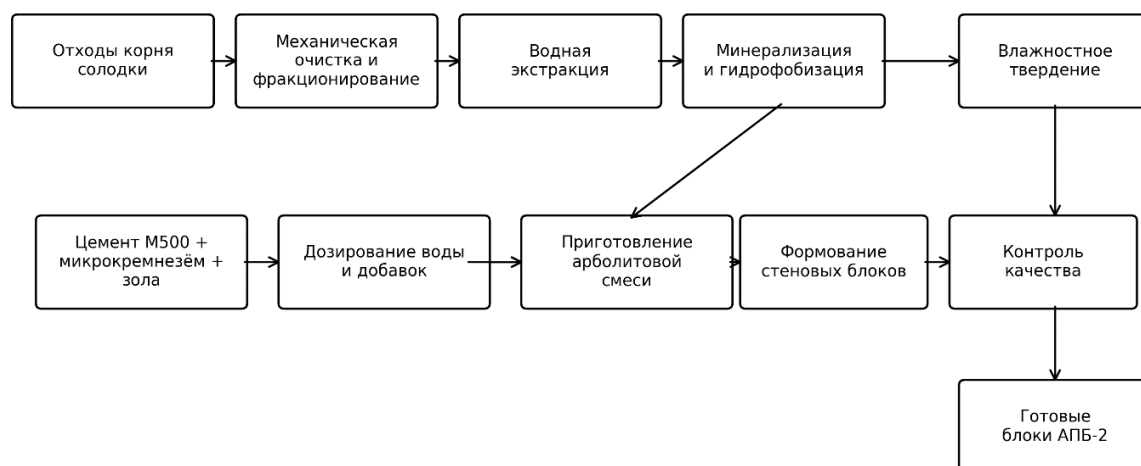


Рисунок 1. Технологическая схема производства арболитобетонных блоков на основе отходов корня солодки.

Таблица 1

Минеральная часть опытных составов, кг/м³

Состав	Цемент М500	Микрокремнезём	Золаминеральная добавка
АПБ-1	390	20	0
АПБ-2	370	30	30
АПБ-3	350	35	50

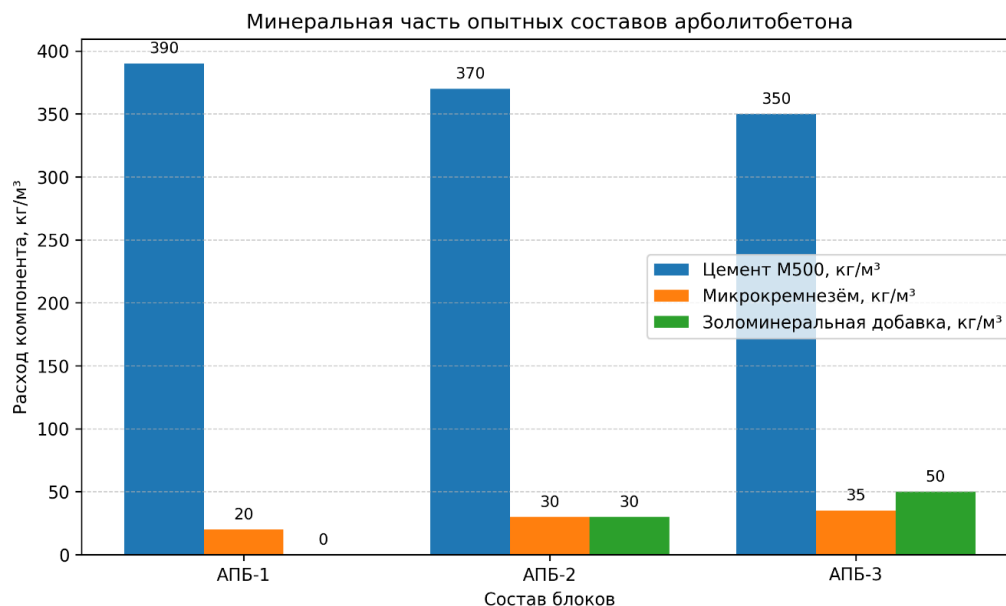


Рисунок 2. Минеральная часть опытных составов арболитобетона.

Прочность при сжатии определяли на контрольных образцах по ГОСТ 10180-2012 [2], водопоглощение - по ГОСТ 12730.3-2020 [3], теплопроводность и термическое сопротивление - по ГОСТ 7076-99 [4]. Общие требования к арболиту и стеновым изделиям учитывали по ГОСТ 19222-2019 [1]. Дополнительно определяли коэффициент размягчения, отклонения длины и высоты, усадку, а также сохранение прочности после транспортно-монтажного моделирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ПРОЧНОСТЬ И ВЛАЖНОСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

Наибольшая прочность при сжатии получена для состава АПБ-2 - 2,58 МПа. Для АПБ-1 показатель составил 2,46 МПа, а для АПБ-3 - 2,31 МПа. По сравнению с АПБ-1 прочность рационального состава увеличилась на 4,9%, а по сравнению с АПБ-3 - на 11,7%. Полученная зависимость показывает, что умеренное совместное введение микрокремнезёма и золоминеральной добавки обеспечивает более благоприятное структурообразование, чем дальнейшее снижение расхода цемента.

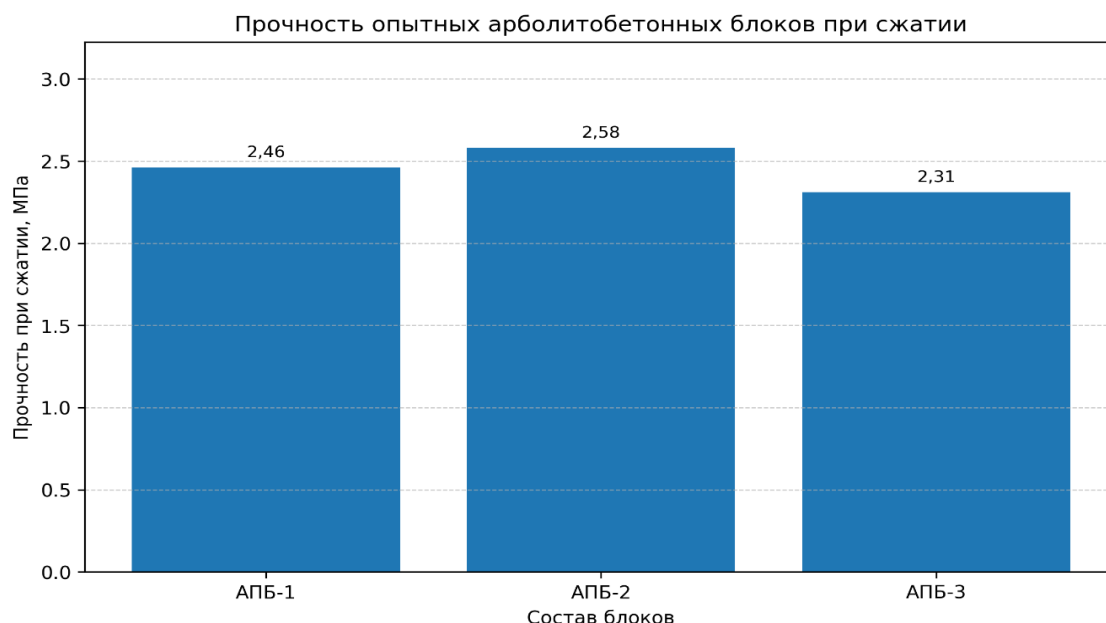


Рисунок 3. Сравнение прочности опытных блоков АПБ-1, АПБ-2 и АПБ-3.

Минимальное водопоглощение установлено для АПБ-2 - 30%. Для АПБ-1 и АПБ-3 оно составило соответственно 33 и 31%. Коэффициент размягчения АПБ-2 достиг 0,88, что выше значений АПБ-1 (0,86) и АПБ-3 (0,85). Следовательно, АПБ-2 обладает наиболее устойчивой структурой при водонасыщении.

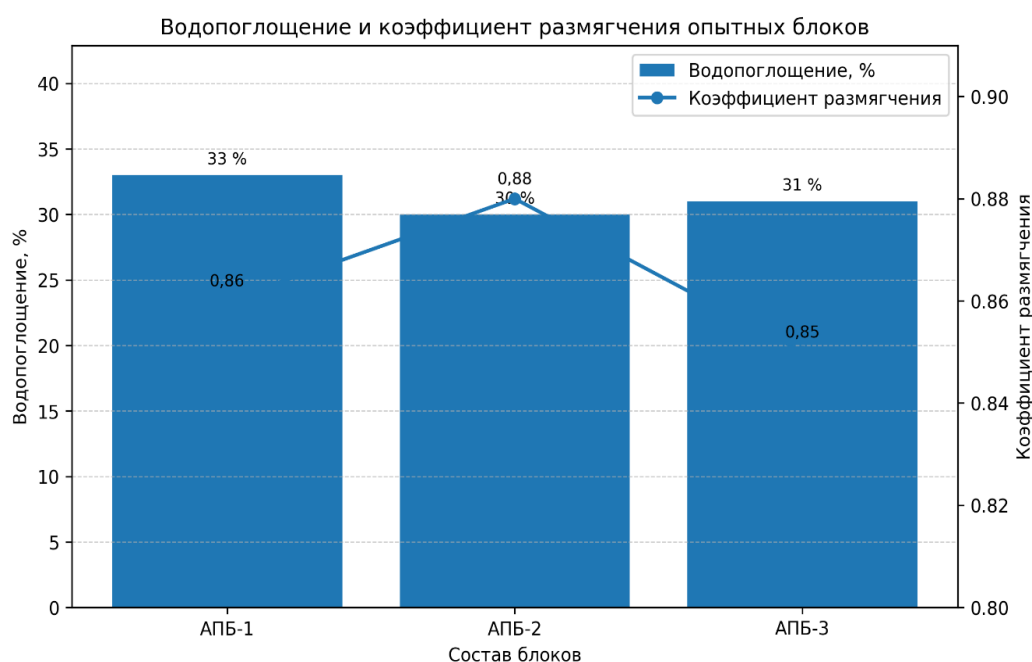


Рисунок 4. Водопоглощение и коэффициент размягчения опытных блоков.

Таблица 2

Основные эксплуатационные показатели опытных составов

Показатель	АПБ - 1	АПБ - 2	АПБ - 3
Прочность при сжатии, МПа	2,46	2,58	2,31
Водопоглощение, %	33	30	31
Коэффициент размягчения	0,86	0,88	0,85
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,139	0,137	0,135
Отклонение длины, мм	2,1	1,6	2,4
Отклонение высоты, мм	1,8	1,4	2,0
Усадка за 60 суток, мм/м	0,68	0,59	0,72
Прочность после моделирования, МПа	2,31	2,48	2,12
Коэффициент сохранения прочности	0,94	0,96	0,92

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СТЕНОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

Для предварительной оценки теплозащитной эффективности принята однослойная стена из арболитобетонных блоков толщиной 300 мм. Термическое сопротивление слоя материала и суммарное сопротивление теплопередаче определяли по формулам:

$$R_{\text{мат}} = \frac{\delta}{\lambda} \quad (1)$$

$$R_0 = R_{\text{si}} + R_{\text{мат}} + R_{\text{se}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \quad (2)$$

$$R_{\text{мат}}(\text{АПБ} - 2) = \frac{0,30}{0,137} = 2,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \quad (3)$$

$$R_0(\text{АПБ} - 2) = \frac{1}{8,7} + \frac{0,30}{0,137} + \frac{1}{23} = 2,35 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \quad (4)$$

Где, $R_{\text{мат}}$ - термическое сопротивление слоя арболитобетона, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$; δ - толщина стены, м; λ - коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/(м} \cdot \text{°C)}$; R_0 - суммарное сопротивление теплопередаче; $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ - коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей. В расчёте приняты $\delta = 0,30$ м, $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ и $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

Таблица 3

Теплотехническая оценка однослойной стены толщиной 300 мм

Состав	Толщина, м	λ , Вт/(м·°С)	$R_{\text{мат}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	$R_{\text{si}} + R_{\text{se}}$	R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$
АПБ-1	0,30	0,139	2,16	0,16	2,32
АПБ-2	0,30	0,137	2,19	0,16	2,35
АПБ-3	0,30	0,135	2,22	0,16	2,38

Коэффициент теплопроводности исследованных составов изменялся в узком диапазоне 0,135 - 0,139 $\text{Вт/(м} \cdot \text{°C)}$. Минимальное значение характерно для АПБ-3, однако его преимущество относительно АПБ-2 составляет только 0,002 $\text{Вт/(м} \cdot \text{°C)}$. При толщине стены 300 мм суммарное сопротивление теплопередаче изменяется от 2,32 до 2,38 $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Поэтому выбор рационального состава должен учитывать прочность, водостойкость и стабильность размеров, а не только минимальную теплопроводность.

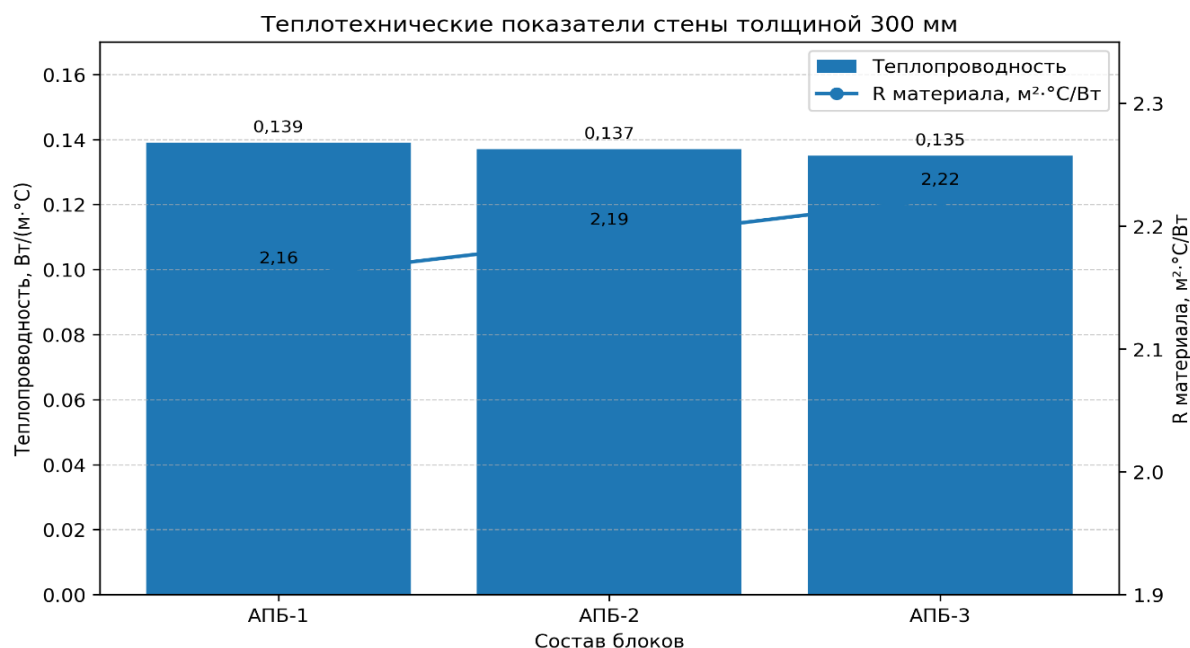


Рисунок 5. Теплотехнические показатели стены толщиной 300 мм.

СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗМЕРОВ И СОХРАНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ

Наименьшие отклонения геометрических размеров отмечены у АПБ-2: по длине 1,6 мм и по высоте 1,4 мм. Его усадка за 60 суток составила 0,59 мм/м, тогда как у АПБ-1 и АПБ-3 она достигла 0,68 и 0,72 мм/м соответственно. По сравнению с АПБ-3 усадка рационального состава уменьшилась на 18,1 %.

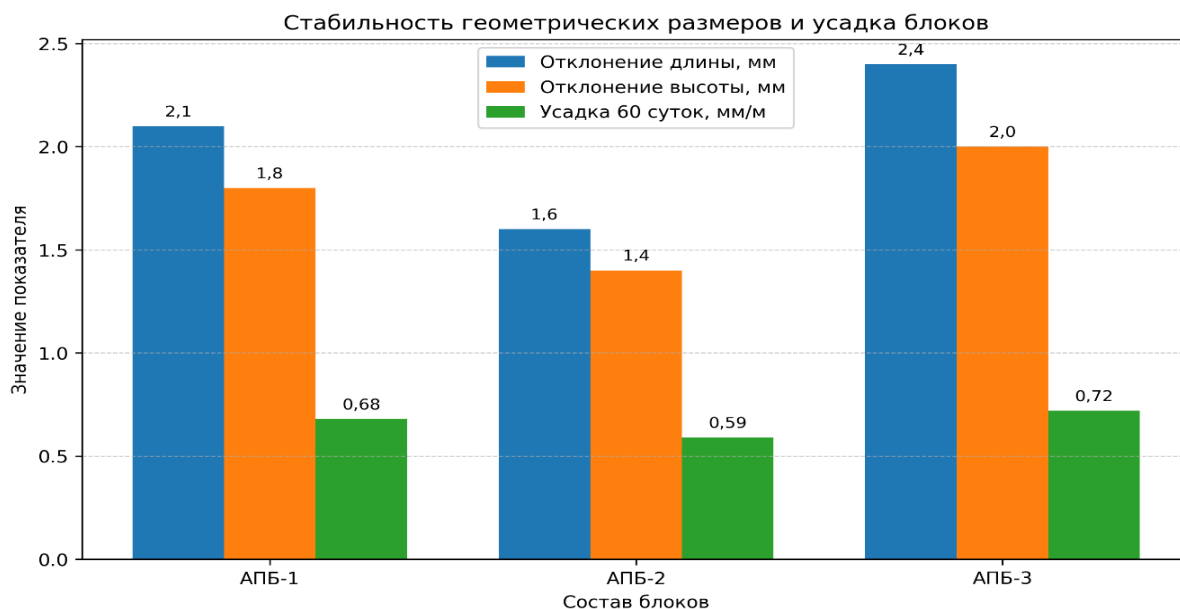


Рисунок 6. Стабильность геометрических размеров и усадка блоков.

После транспортно-монтажного моделирования прочность АПБ-2 снизилась с 2,58 до 2,48 МПа, а коэффициент её сохранения составил 0,96. Для АПБ-1 и АПБ-3 этот показатель равен 0,94 и 0,92. Полученные данные подтверждают, что АПБ-2 лучше сохраняет целостность при моделируемых механических воздействиях.

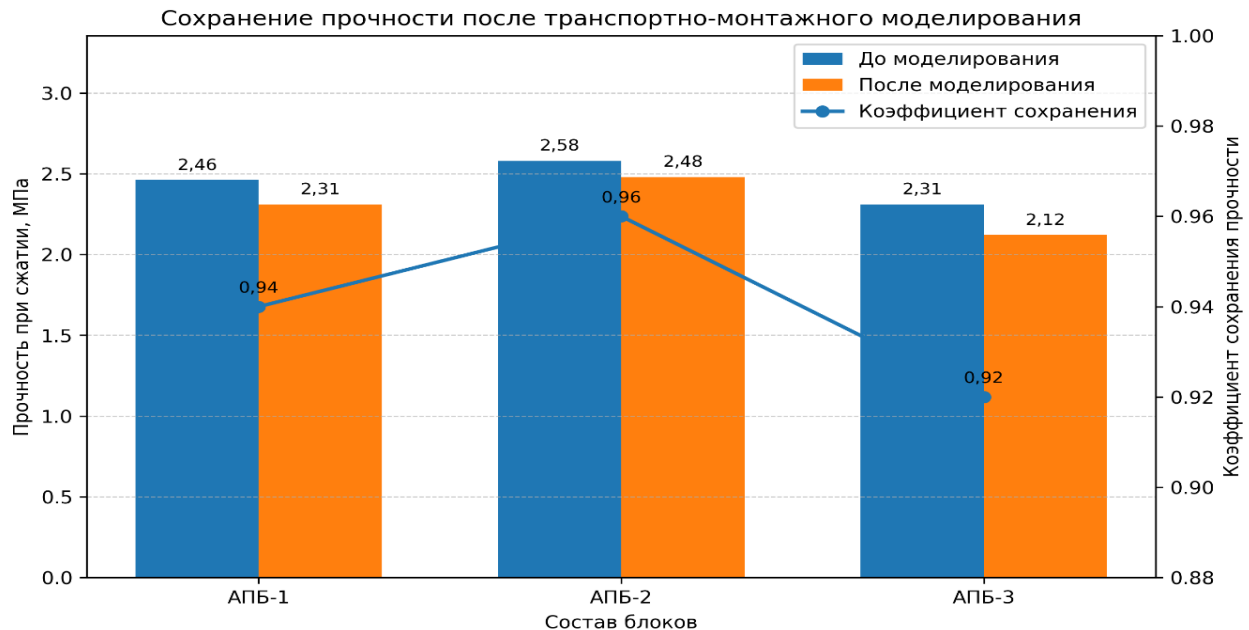


Рисунок 7. Сохранение прочности после транспортно-монтажного моделирования.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рациональное сочетание показателей АПБ-2 связано с совместным действием предварительной подготовки органического заполнителя и оптимизации минеральной части. Водная экстракция уменьшает содержание растворимых органических веществ, минерализация формирует на поверхности частиц более совместимый с цементной матрицей слой, а гидрофобизация ограничивает интенсивное поглощение воды. Микрокремнезём заполняет тонкие капилляры и участвует в пуццолановой реакции, тогда как умеренная дозировка золоминеральной добавки позволяет уплотнить структуру без чрезмерного снижения доли цементного вяжущего [7–10].

Увеличение содержания минеральной добавки в АПБ-3 обеспечивает небольшое снижение теплопроводности, но сопровождается уменьшением прочности, ростом усадки и ухудшением коэффициента размягчения. АПБ-1 содержит больше цемента, однако отсутствие золоминеральной добавки не обеспечивает минимального водопоглощения и наилучшей стабильности размеров. Поэтому состав АПБ-2 принят как наиболее сбалансированный.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для изготовления опытной партии стеновых блоков рекомендуется использовать состав АПБ-2 с расходом цемента М500 370 кг/м³, микрокремнезёма 30 кг/м³ и золоминеральной добавки 30 кг/м³. Подготовка отходов корня солодки должна включать механическую очистку, фракционирование, водную экстракцию, минерализацию и гидрофобизацию. Влажность заполнителя необходимо учитывать при корректировке расхода воды затворения.

Перед практическим внедрением следует дополнительно определить морозостойкость, равновесную эксплуатационную влажность, биостойкость и изменение теплопроводности при увлажнении. Теплотехнический расчёт реальной кладки необходимо выполнять с учётом растворных швов, отделочных слоёв и климатических условий района строительства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Комплексная оценка показала возможность получения стеновых арболитобетонных блоков с использованием предварительно обработанных отходов корня солодки.
2. Наиболее рациональным признан состав АПБ-2, содержащий 370 кг/м³ цемента М500, 30 кг/м³ микрокремнезёма и 30 кг/м³ золоминеральной добавки.

3. АПБ-2 обеспечивает прочность при сжатии 2,58 МПа, водопоглощение 30 %, коэффициент размягчения 0,88, теплопроводность 0,137 Вт/(м·°C), усадку 0,59 мм/м и коэффициент сохранения прочности 0,96.

4. Для однослойной стены толщиной 300 мм термическое сопротивление слоя АПБ-2 составляет 2,19 м²·°C/Вт, а суммарное сопротивление теплопередаче — 2,35 м²·°C/Вт.

5. Преимущество АПБ-2 определяется наиболее сбалансированным сочетанием прочности, водостойкости, теплотехнической эффективности и стабильности геометрических параметров.

Список литературы

- [1]. ГОСТ 19222-2019. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=6453912>
- [2]. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100908>
- [3]. ГОСТ 12730.3-2020. Бетоны. Метод определения водопоглощения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177301>
- [4]. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005006>
- [5]. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Издательство АСБ, 2011. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_02000011028/
- [6]. Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. London: Pearson Education, 2011. URL: https://books.google.com/books/about/Properties_of_Concrete.html?id=mmygngEACAAJ
- [7]. Bederina M., Marmoret L., Mezreb K., Khenfer M.M., Bali A., Quéneudec M. Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes: experimental study and modelling. Construction and Building Materials. 2007. Vol. 21(3). P. 662–668. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.008>
- [8]. Bołtryk M., Pawluczuk E., Kalinowska-Wichrowska K., Rutkowska W. The influence of two-stage mineralization of organic fillers on the properties of cement composites. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2025. Vol. 25. Article 127. URL: <https://doi.org/10.1007/s43452-025-01170-1>
- [9]. Yagubkin A., Shabanov D., Niyakovskii A., Romanovski V. Maximizing strength and durability in wood concrete (arbolite) via innovative additive control and consumption. Biomass Conversion and Biorefinery. 2025. Vol. 15. P. 13365–13379. URL: <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06071-6>
- [10]. Ledhem A., Dheilly R.M., Quéneudec M. Reuse of waste oils in the treatment of wood aggregates. Waste Management. 2000. Vol. 20(4). P. 321–326. URL: [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(99\)00332-3](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(99)00332-3)

ГИБРИДНОЕ ДИСПЕРСНОЕ АРМИРОВАНИЕ НЕАВТОКЛАВНОГО ФИБРОПЕНОБЕТОНА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УСАДОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА

А. Баходиров¹, П. Лепесбаева², Г. Досжанова³

¹“Центр поддержки стартапов” при Агентстве инновационного развития

e-mail: baxodirov@sbumiptk.uz

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7434-8627>

²Докторант Белорусско-Узбекского совместного межотраслевого института прикладных
технических квалификаций в городе Ташкенте

e-mail: paruaz9598@gmail.com

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

³Самостоятельный исследователь Каракалпакского государственного университета

e-mail: guljaynardosjanova@gmail.com

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация: Для сухого и жаркого климата Узбекистана усадка неавтоклавного пенобетона является одним из главных факторов эксплуатационной надежности перегородочных и стеновых изделий. В статье рассмотрена локализованная схема применения гибридного дисперсного армирования на основе полипропиленовой и базальтовой фибры. Исходные экспериментальные данные показывают, что сочетание 0,2% об. полипропиленовой и

0,4% об. базальтовой фибры снижает усадку до 1,5 мм/м, повышает прочность при сжатии до 5,1 МПа и обеспечивает прочность при изгибе 3,0 МПа. Такой состав может быть адаптирован для предприятий Узбекистана за счет использования портландцемента класса не ниже 42,5, местного кварцевого песка, известнякового или доломитового минерального порошка и контролируемого режима твердения, исключающего быстрое обезвоживание изделий.

Ключевые слова: фибропенобетон, усадка, полипропиленовая фибра, базальтовая фибра, сухой жаркий климат, Узбекистан, дисперсное армирование.

Annotatsiya: O'zbekistonning quruq va issiq iqlimi sharoitida avtoklavsiz usulda tayyorlangan penobetonning cho'kishini to'siq va devorbop buyumlarning ekspluatatsion ishonchligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Maqolada polipropilen va bazalt tolasi asosidagi gibrid dispersli armaturalashni qo'llashning mahalliyashtirilgan sxemasi ko'rib chiqilgan. Dastlabki tajriba ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, 0,2% (hajmiy) polipropilen va 0,4% (hajmiy) bazalt tolasi birikmasi cho'kishni 1,5 mm/m gacha kamaytiradi, siqilishga mustahkamligini 5,1 MPagacha oshiradi va egilishga mustahkamligini 3,0 MPagacha ta'minlaydi. Bunday tarkibni 42,5 dan past bo'lmagan markadagi portlandsement, mahalliy kvars qumi, ohaktosh yoki dolomitli mineral kukun hamda buyumlarning tez suvsizlanishining oldini oluvchi nazoratli qotish rejimini qo'llash orqali O'zbekiston korxonalari uchun moslashtirish mumkin.

Kalit so'zlar: fibropenobeton, cho'kish, polipropilen tolasi, bazalt tolasi, quruq issiq iqlim, O'zbekiston, dispersli armaturalash.

Abstract: In the dry, hot climate of Uzbekistan, the shrinkage of non-autoclaved foam concrete is one of the main factors affecting the operational reliability of partition and wall products. This article examines a localized scheme for the application of hybrid dispersed reinforcement based on polypropylene and basalt fibers. Initial experimental data show that a combination of 0.2% by volume polypropylene fiber and 0.4% by volume basalt fiber reduces shrinkage to 1.5 mm/m, increases compressive strength to 5.1 MPa, and provides a flexural strength of 3.0 MPa. Such a composition can be adapted for enterprises in Uzbekistan by using Portland cement of grade 42.5 or higher, local quartz sand, limestone or dolomite mineral powder, and a controlled curing regimen that prevents rapid dehydration of the products.

Keywords: fiber-reinforced foam concrete, shrinkage, polypropylene fiber, basalt fiber, dry hot climate, Uzbekistan, dispersed reinforcement.

Kirish

Avtoklavsiz ko'pikbeton o'zining nisbatan oddiy texnologiyasi, kam sarmoya talab qilishi va mahsulotni iste'mol joyiga yaqin yerda ishlab chiqarish imkoniyati tufayli uy-joy qurilishida hamon dolzarb bo'lib qolmoqda. Bu O'zbekiston uchun ayniqsa muhim: ishlab chiqaruvchi va qurilish maydonchasi o'rtasidagi logistika masofasining uzoqligi to'siq materiallarining yakuniy narxiga ko'pincha sezilarli ta'sir ko'rsatadi, kichik va o'rta ishlab chiqarish liniyalari esa viloyat markazlaridagi talabni tezroq qondirishga imkon beradi.

Ko'pikbetonning zaif jihati – uning cho'kish deformatsiyalaridir. Qurish jarayonida kapillyar-g'ovakli strukturadan suv chiqib ketadi, g'ovaklararo to'siqlarda cho'zilish kuchlanishlari, so'ngra esa mikroyoriqlar paydo bo'ladi. Quyosh radiatsiyasi va sutkalik harorat o'zgarishlari yuqori bo'lgan O'zbekistonning qurg'oqchil, keskin kontinental iqlimi sharoitida materialning erta qurishi cho'kish yoriqlari paydo bo'lish xavfini oshiradi. Shu sababli, mahalliy amaliyot uchun nafaqat tarkibni to'g'ri tanlash, balki material strukturasi mikro va makro darajada boshqarish ham muhim ahamiyat kasb etadi.

Materialni faqat polipropilen fibra bilan armaturalash yirik yoriqlar ochilishi xavfini kamaytirsada, g'ovaklararo to'siqlar deformatsiyasini har doim ham yetarlicha cheklay olmaydi. Buning sababi polipropilenning elastiklik moduli mineral tolalarnikiga nisbatan pastligidadir. Shu bois gibrid armaturalash usuli oqilona yechim bo'lmoqda: past modulli tolalar makrostruktura darajasida, yuqori modulli tolalar esa mayda g'ovakli to'siqlar darajasida ishlaydi. Bunday yondashuv mahalliy qurilish vazifalariga to'la mos keladi, ya'ni qorishmaning narxini sezilarli oshirmagan holda yengil, texnologik va yoriqlarga chidamli material olish imkonini beradi.

Maqolaning maqsadi O'zbekiston sharoitiga moslashtirilgan, kirishishi past bo'lgan noavtoklav fibropenobeton tarkibini asoslash hamda armaturalashning qaysi parametrlari deformatsiyaga bardoshlilik, mustahkamlik va texnologiklik o'rtasidagi eng maqbul muvozanatni ta'minlashini ko'rsatib berishdan iborat.

Asos sifatida o'rtacha quruq zichligi 1200 kg/m^3 atrofida bo'lgan zich, avtoklavsiz fibropenobeton retsepturasi qabul qilindi. Uni mahalliy sharoitga moslashtirish uchun CEM I 42,5 sinfidagi portlandsement yoki uning milliy analogi, yiriklik moduli taxminan 2,2 bo'lgan kvars qumi, karbonatli mineral kukun hamda oqsilli yoki sintetik ko'pik hosil qilgichdan iborat tarkib sifatida qarash mumkin. O'zbekiston sharoitida mineral kukunni ohaktosh va dolomit elanmalaridan, shuningdek, donadorlik tarkibi va suvga bo'lgan ehtiyoji laboratoriyada tekshirilgach, tosh maydalashdan chiqadigan changsimon chiqindilardan olish maqsadga muvofiqdir.

Armirlash uch turdagi tola: polipropilen fibra, bazalt fibra va xrizotil tolasi bo'yicha baholandi. Amaliyotga joriy etish uchun polipropilen va bazalt fibrallari birikmasiga ustunlik berildi: birinchisi kimyoviy jihatdan barqaror bo'lib, makroyoriqlarning ochilishini samarali cheklaydi, ikkinchisi esa yuqori elastiklik moduliga ega va qattiq sement matritsasida yaxshiroq ishlaydi. Xrizotil tolalari yuqori disperslikka ega, biroq ularni qo'llash alohida sanitariya-gigiyenik va texnologik baholashni talab etadi.

O'lchami $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ bo'lgan namuna-to'sinlar tabiiy sharoitda saqlandi; ularning uzunligi va massasidagi o'zgarishlar 14, 28, 56 va 112 sutkadan so'ng qayd etib borildi. Siqilishga mustahkamligi qotib, quritilgandan keyin nazorat kublarida, egilishga mustahkamligi esa kirishish o'lchovlari yakunlangach, to'sinlarda aniqlandi. Mahalliy amaliyot uchun parvarishlash tartibi muhim qo'shimcha hisoblanadi: birinchi sutkada mahsulotlar to'g'ridan-to'g'ri quyosh nuri va yelvizakdan himoyalaniishi, qolipdan olingandan so'ng esa plyonka ostida yoki yopiq omborda bir tekisda quritilishi kerak.

1-jadval.

Armaturalovchi tolalarning asosiy xususiyatlari

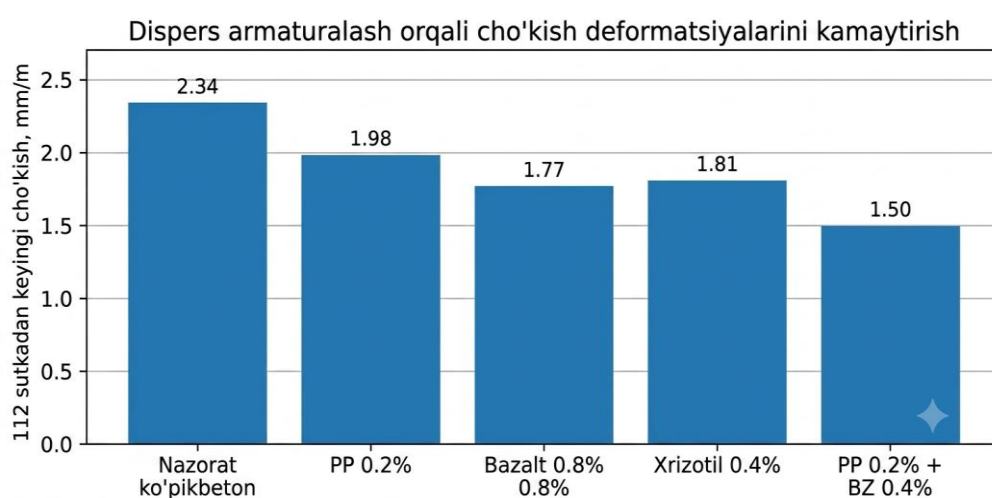
Tolaning turi	Diametri, mm	Uzunligi, mm	Zichlik, g/sm ³	Cho'zilishdagi uzayish, %	Cho'zilishga mustahkamlik chegarasi, MPa	Yung moduli, MPa
Polipropilen	0,018	12,0	0,9	10,0-25,0	400-770	3500-8000
Bazalt	0,018	12,0	2,6	1,4-3,6	1600-3600	80000-110000
Xrizotil	0,028	1,35	2,6	0,5-0,7	910-3100	68000

Armaturalashning cho'kishga ta'sirini baholash uchun fibropenobeton deformatsiyasi armaturalanmagan matritsa deformatsiyasi, tolalar elastiklik moduli, armaturalashning hajmiy koeffitsiyenti hamda tolalarning uzunligi va diametri bilan aniqlanadigan bog'liqlikdan foydalanildi. Hajmiy ulush bir xil bo'lganda, tolalarning elastiklik moduli yuqoriligi va geometrik o'lchamlari kichikligi yoriqlar paydo bo'lishining oldini olish samaradorligini oshiradi. Biroq, tolalarning umumiy miqdorini oshirish texnologik cheklovga ega: aralashma to'yingach, kesaklanish yuzaga keladi, g'ovak strukturaning bir me'yordaligi buziladi va natijada haqiqiy cho'kish ortadi.

Tolasiz nazorat ko'pikbetoni eng katta cho'kish bilan ajralib turadi. Monoarmiyalash deformatsiyalarni taxminan 15–24% ga kamaytiradi; yakka tolalar orasida eng past ko'rsatkichlar hajmiy ulushi 0,8% bo'lgan bazalt fibrasi va 0,4% bo'lgan xrizotil uchun qayd etilgan. Shunga qaramay, cho'kish va mustahkamlik o'rtasidagi eng yaxshi muvozanatni gibrid tizim namoyon etdi: hajmiy ulushi 0,2% bo'lgan polipropilen va 0,4% bo'lgan bazalt fibrasi.

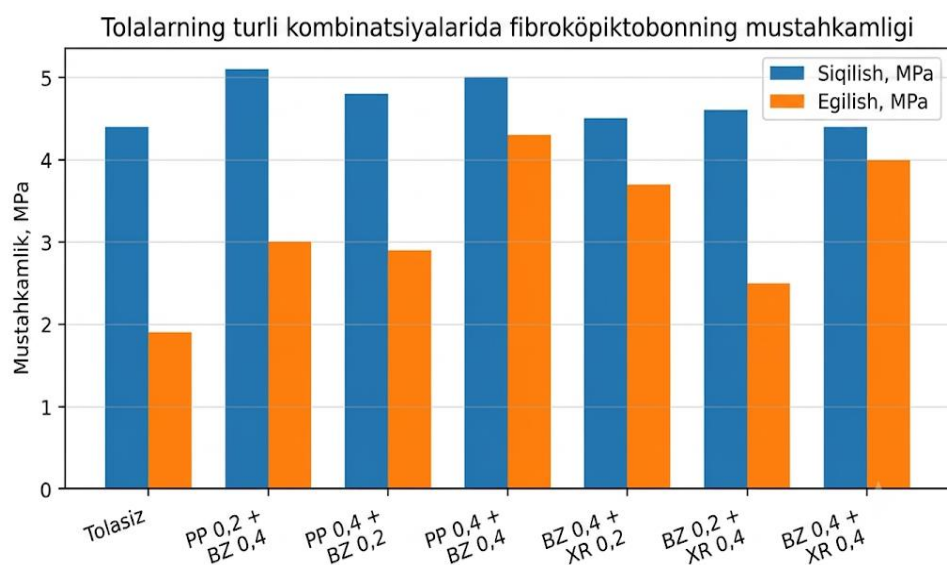
Mahalliyashtiriladigan tarkiblar va sinovlarning asosiy natijalari

Tarkibi	Sement, kg/m ³	Qum, kg/m ³	Mineral kukun, kg/m ³	Fibra, % hajm.	V/T	Zichlik, kg/m ³	Siqilish, MPa	Egilishdagi mustahkamlik, MPa	112 sutkalik cho'kish, mm/m
Tolasiz	300	480	300	0	0,26	1216	4,4	1,9	2,34
III + БЗ	300	480	300	0,2 + 0,4	0,26	1207	5,1	3,0	1,50
III + БЗ	300	480	300	0,4 + 0,2	0,26	1220	4,8	2,9	1,65
III + БЗ	300	480	300	0,4 + 0,4	0,26	1256	5,0	4,3	-
БЗ + XP	300	480	300	0,4 + 0,2	0,26	1214	4,5	3,7	-
БЗ + XP	300	480	300	0,2 + 0,4	0,26	1238	4,6	2,5	-
БЗ + XP	300	480	300	0,4 + 0,4	0,26	1245	4,4	4,0	-



1-rasm. Nazorat, monodispers va gibrid tolali ko'pikbetonning cho'kishi.

0,2% PP + 0,4% BZ gibrid tarkibi cho'kishni armaturalanmagan tarkibga nisbatan 36% ga, bazalt tola bilan monoarmaturalangan variantga nisbatan esa taxminan 17% ga kamaytirdi. Amalda bu nafaqat chiziqli deformatsiyaning kamayishini, balki to'siq plitalari barvaqt quriganda ko'zga ko'rinadigan yoriqlar paydo bo'lish ehtimolining pastligini ham anglatadi.



2-rasm. Har xil fibra birikmalarining siqilish va egilishdagi mustahkamligini taqqoslash.

Olingan samara tolalarning turli miqyosda ishlashi bilan izohlanadi. Nisbiy uzayishi yuqori bo'lgan polipropilen tola yoriq paydo bo'lishi boshlangandan so'ng deformatsiyalarni o'ziga oladi va yoriqning kengayishini makrodarajada ushlab turadi. Elastiklik moduli ancha yuqori bo'lgan bazalt tolasi esa g'ovaklararo qattiq to'siqlarning deformatsiyalanishiga samaraliroq qarshilik ko'rsatadi. Shu sababli, ikki turdagi tolaning birikmasi shunchaki armaturalashning "yig'indisi"ni emas, balki ancha barqaror fazoviy strukturani hosil qiladi.

0,4% PP + 0,4% BZ tarkibi egilishga yuqori mustahkamlikni ta'minlaydi, biroq seriyali ishlab chiqarish uchun unchalik qulay emas: tolalar sarfi ortadi, qorishmaning qovushqoqligi oshadi va g'ovak hosil bo'lishining bir me'yordaligi buzilishi xavfi paydo bo'ladi. Ishlab chiqarish barqarorligi va mahsulot tannarxi muhim bo'lgan O'zbekiston korxonalari uchun 0,2% PP + 0,4% BZ tarkibini maqbul deb hisoblash oqilonadir. Bu tarkib ortiqcha fibroto'yinishsiz yetarli darajada egilish mustahkamligini va minimal darajada kirishishni ta'minlaydi.

Quruq va issiq iqlim sharoitida tarkibni joriy etishda texnologik intizom hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Qorishma barqaror zichlikka ega bo'lishi, mahsulotlar esa bir tekis qotishi va qurishi lozim. To'g'ridan-to'g'ri quyosh nuri ostida mahsulot sirtidan suvning tez bug'lanishi armaturalashning foydasini yo'qqa chiqarishi mumkin, chunki matritsa yetarli mustahkamlikka erishmasdan turib yoriqlar paydo bo'ladi. Shuning uchun mahalliy texnologik reglamentda qoliplarning ustini yopish, yopiq joyda saqlab qotirish, topshirish namligini nazorat qilish va yangi plitalarni shamol tegadigan joyda saqlashni taqiqlash kabi qoidalar bo'lishi kerak.

Mahalliy karbonatli jinslardan olingan mineral kukunni qo'llash bir vaqtning o'zida sement sarfini kamaytirib, ko'pikli strukturani barqarorlashtiradi. Biroq, mayda dispersli to'ldiruvchining ortiqcha miqdori suvga bo'lgan talabni va kirishishni oshirishi mumkin, shuning uchun retsepturaga mahalliy sharoitdan kelib chiqib tuzatish kiritish sinov qorishmalari natijalariga asosan amalga oshirilishi lozim. To'ldiruvchining maqbul nisbati nafaqat uning narxi, balki qorishmaning cho'kishiga yo'l qo'ymasdan mayda g'ovakli strukturani saqlab qolish qobiliyati bilan ham belgilanadi.

Seriyali ishlab chiqarishni yo'lga qo'yishdan oldin retsepturani shunchaki mexanik ko'chirish emas, balki uni mahalliy xomashyoning amaldagi xususiyatlariga moslashtirish muhim. Tarkib o'zgarishiga, ayniqsa, mineral kukunining suvga bo'lgan talabi, ko'pikning turg'unligi va aralashtirishdan keyingi fibraning haqiqiy uzunligi sezgir bo'ladi. Suv-qatlam nisbatining hatto biroz oshishi ham cho'kishni sezilarli darajada kuchaytirishi mumkin, shu bois sinov qorishmalari yangi aralashma zichligi va g'ovak strukturasiining geometriyasini nazorat qilish bilan birga amalga oshirilishi lozim.

Viloyat korxonalari uchun fibrani ikki bosqichda qo'shish maqsadga muvofiq: avval polipropilen fibrani qorishma suviga yoki aralashmaning suyuq qismiga, so'ngra mineral suspenziya birlamchi aralashtirilgach, bazalt fibrani qo'shish kerak. Bu tartib bo'lakchalar hosil bo'lish xavfini kamaytiradi va tolalar hajm bo'ylab bir tekis taqsimlanishini yaxshilaydi. Quruq dozalash usulidan foydalanilganda, past hajmli konsentratsiyalar uchun yetarli aniqlikdagi tarozi nazoratini qo'llash zarur.

Issiq iqlimni inobatga olgan holda, texnologik reglamentda nafaqat retseptura, balki saqlash shartlari ham belgilanishi lozim. Yangi tayyorlangan mahsulotlar solingan qolip va tagliklarni ochiq quyosh ostida qoldirish mumkin emas; yopiq ombor, plyonka bilan o'rash va asta-sekin quritish eng maqbul yechimdir. Aks holda, cho'kish kuchlanishi pishiq sement matritsasining shakllanishidan ko'ra tezroq yuzaga keladi.

Fibropenobetonni mahalliy sharoitda ishlab chiqarishning nazorat parametrlari

Nazoratlanuvchi parametr	Tavsiya etiladigan mahalliy talab	Nazorat qilish sababi
Sement	Sinfi CEM I 42,5 dan past bo'lmagan yoki tasdiqlangan analogi	qolipdan yechish mustahkamligiga tez erishish
Qum	yiriklik moduli 2,0-2,3 atrofida; loyli aralashmalar miqdori minimal	g'ovaklararo to'siqlarning barqaror tuzilishi va mustahkamligi
Mineral kukun	suv yutishi tekshirilgan karbonat kukuni	Cho'kishini oshirmagan holda sement sarfini kamaytirish
Fibra	0,2% hajm. PP + 0,4% hajm. BZ; bir tekis taqsimlangan	mikro va makro yoriqlar hosil bo'lishini cheklash
Qattiqlashish	yopiq joyda saqlash, quyosh va shamoldan himoya	barvaqt suvsizlanishning oldini olish
Tayyor mahsulotlar	zichligi, namligi, mustahkamligi va ko'zga ko'rinadigan yoriqlarning yo'qligi	qurilish maydonchasida sifat barqarorligi

Xulosa

O'zbekiston sharoitida avtoklavsiz fibropenobetonni polipropilen va bazalt fibrallari bilan gibrid armaturalash qurishish deformatsiyalarini kamaytirishning texnologik jihatdan o'zini oqlaydigan usuli hisoblanadi.

Barcha ko'rsatkichlar majmuiga ko'ra, tarkibida 0,2% (hajmiy) polipropilen va 0,4% (hajmiy) bazalt fibrasi bo'lgan aralashma eng maqbul sanaladi: bunda qurishish taxminan 1,5 mm/m ni, siqilishga mustahkamligi – 5,1 MPa ni, egilishga mustahkamligi esa – 3,0 MPa ni tashkil etadi.

Monoarmaturalash qurishishni kamaytirsada, past va yuqori modulli tolalarning gibrid birikmasi kabi mikroyoriqlarga chidamlilik, mustahkamlik va texnologiklik o'rtasidagi muvozanatni ta'minlay olmaydi.

Mahalliy sharoitga moslashtirish mahalliy xomashyodan mineral kukun tanlashni, ko'pik hosil qiluvchining sement bilan mutanosibligini tekshirishni hamda quyosh va shamoldan himoyalangan sharoitda dastlabki qotish jarayonini majburiy nazorat qilishni talab qiladi.

Adabiyotlar

- [1]. Avtoklav usulida tayyorlanmagan fibropenobetonni dispers yarim armatura bilan armaturalash bo'yicha dissertatsiya ishining dastlabki tajriba ma'lumotlari.
- [2]. GOST 25485. G'ovak betonlar. Texnikaviy shartlar.
- [3]. GOST 31108. Umumqurilish sementlari. Texnikaviy shartlar.
- [4]. SHNQ 2.01.01-22. Loyihalash uchun iqlimiy va fizik-geologik ma'lumotlar.
- [5]. O'zbekistonning milliy darajada belgilangan uchinchisi. O'zbekistonning iqlim profili, 2025.
- [6]. QMQ 2.01.03-19. Seysmik hududlarda qurilish. O'zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi, 2019.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКСИДА И ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ

М.О. Асаматдинов*, А.Т. Айтмуратов, Р.Т. Барлыков

Каракалпакский государственный университет

*Автор для корреспонденции, e-mail: maratasamatdinov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8829-1994>

E-mail: amanaytmuratov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8973-6686>

E-mail: rasulbarliqov@gmail.com

Аннотация. В работе исследовано влияние оксида алюминия (Al_2O_3) и гидроксида алюминия $Al(OH)_3$ на сроки схватывания цементных вяжущих. Установлено, что введение алюмосодержащих добавок оказывает существенное влияние на процессы гидратации клинкерных минералов, изменяя кинетику структурообразования цементного теста. Определены оптимальные дозировки добавок, обеспечивающие регулирование сроков начала и конца схватывания без существенного снижения прочности цементного камня. Полученные результаты могут быть использованы при разработке специальных быстротвердеющих и регулируемых по срокам схватывания цементных композиций.

Ключевые слова: цемент, гидратация, оксид алюминия, гидроксид алюминия, сроки схватывания, цементный камень, алюмосодержащие добавки.

Annotatsiya. Ishda alyuminiy oksidi (Al_2O_3) va alyuminiy gidroksidi $Al(OH)_3$ ning sement bog'lovchilarning qotish muddatlariga ta'siri tadqiq etilgan. Alyuminiy tarkibli qo'shimchalarning kiritilishi klinker minerallarining gidratatsiya jarayonlariga sezilarli ta'sir ko'rsatib, sement qorishmasida struktura hosil bo'lish kinetikasini o'zgartirishi aniqlangan. Sement toshining mustahkamligini sezilarli darajada kamaytirmagan holda qotishning boshlanishi va yakunlanish muddatlarini tartibga solishni ta'minlaydigan qo'shimchalarning maqbul miqdorlari aniqlangan. Olingan natijalardan tez qotuvchi hamda qotish muddatlari boshqariladigan maxsus sement kompozitsiyalarini ishlab chiqishda foydalanish mumkin.

Kalit so'zlar: sement, gidratatsiya, alyuminiy oksidi, alyuminiy gidroksidi, qotish muddatlari, sement toshi, alyuminiy tarkibli qo'shimchalar.

Abstract. This study investigates the effect of aluminum oxide (Al_2O_3) and aluminum hydroxide $Al(OH)_3$ on the setting time of cementitious binders. It was established that the incorporation of aluminum-containing additives significantly affects the hydration processes of clinker minerals and alters the kinetics of structure formation in cement paste. The optimal dosages of the additives were determined, allowing the initial and final setting times to be regulated without a significant reduction in the strength of the hardened cement paste. The obtained results may be used in the development of special rapid-hardening cement compositions and cementitious systems with controlled setting times.

Keywords: cement, hydration, aluminum oxide, aluminum hydroxide, setting time, hardened cement paste, aluminum-containing additives.

Введение

Одним из важнейших технологических параметров цементных вяжущих являются сроки схватывания, определяющие возможность транспортирования, укладки и уплотнения бетонных смесей. Регулирование сроков схватывания осуществляется различными химическими и минеральными добавками.

Особый интерес представляют соединения алюминия, поскольку алюминатная фаза цемента является наиболее активной при начальной гидратации. Введение оксида алюминия и гидроксида алюминия способно изменять концентрацию ионов алюминия в жидкой фазе цементного теста, влияя на скорость образования гидроалюминатов кальция.

Целью работы является исследование влияния оксида алюминия и гидроксида алюминия на сроки схватывания портландцемента.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований использовали:

Портландцемент ПЦ 500;

Оксид алюминия Al_2O_3 ;

Гидроксид алюминия $Al(OH)_3$;

Вода питьевого качества.

Добавки вводили в количестве: % от массы цемента.

0,5 %	1,0 %	1,5 %	2,0 %	3,0 %	5,0 %
-------	-------	-------	-------	-------	-------

Сроки схватывания определяли прибором Вика согласно требованиям ГОСТ 310.3.

Таблица 1

Состав исследуемых цементных композиций

№ состава	Al ₂ O ₃ , %		№ состава	Al(OH) ₃ , %
1	0,5		7	0,5
2	1,0		8	1,0
3	1,5		9	1,5
4	2,0		10	2,0
5	3,0		11	3,0
6	5,0		12	5,0

Результаты исследований

Научная новизна исследования. Научная новизна работы заключается в установлении закономерностей влияния оксида алюминия и гидроксида алюминия на кинетику процессов гидратации цементных минералов и сроки схватывания цементного теста. Впервые проведено сравнительное исследование эффективности указанных алюмосодержащих добавок в одинаковых условиях дозирования.

Установлено, что оксид алюминия оказывает более интенсивное влияние на процессы структурообразования цементного камня по сравнению с гидроксидом алюминия вследствие ускоренного взаимодействия с гидроксидом кальция и образования гидроалюминатных соединений.

Полученные результаты позволяют рекомендовать применение оксида алюминия в качестве эффективного ускорителя схватывания цементных систем, а гидроксида алюминия — как более мягкого регулятора процессов твердения.

Таблица 2

Влияние оксида и гидроксида алюминия на сроки схватывания

Содержание Al ₂ O ₃ , %	Сроки схватывания, мин		Содержание Al(OH) ₃ , %	Сроки схватывания, мин	
	Начало	Конец		Начало	Конец
0	140	225	0	140	225
0,5	130	210	0,5	135	217
1,0	118	198	1,0	126	206
1,5	105	184	1,5	116	193
2,0	95	170	2,0	108	181
3,0	70	150	3,0	92	165
5,0	50	120	5,0	83	145

Полученные результаты свидетельствуют о том, что обе добавки способствуют ускорению процессов схватывания цементного теста. Наиболее выраженный эффект наблюдается при использовании оксида алюминия.

Практическая значимость

Результаты исследования могут быть использованы:

при производстве быстротвердеющих строительных растворов;

для изготовления сухих строительных смесей;

при производстве ремонтных составов;

для зимнего бетонирования;

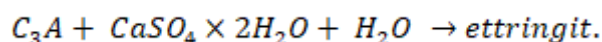
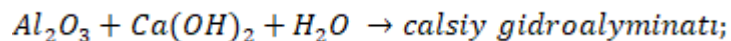
при разработке специальных тампонажных и инъекционных растворов.

Использование алюмосодержащих добавок позволяет сократить продолжительность технологического цикла изготовления изделий и повысить производительность предприятий строительной индустрии.

Механизм действия оксида и гидроксида алюминия

В начальный период гидратации цемента наиболее активной фазой является трехкальцевый алюминат (C_3A). При введении оксида алюминия увеличивается количество активных алюминатных центров, что приводит к ускоренному образованию гидроалюминатов кальция.

Основные реакции могут быть представлены следующим образом:



Формирование этtringита приводит к быстрому возникновению пространственной кристаллической структуры, обеспечивающей ускоренное схватывание цементного теста.

Гидроксид алюминия проявляет аналогичный механизм действия, однако вследствие меньшей растворимости процесс поступления ионов алюминия в жидкую фазу происходит постепенно, что объясняет менее выраженный ускоряющий эффект. Результаты исследования приведены в таблицах

Таблица 3

Влияние добавок Al_2O_3 на прочность цементного камня

Добавка Контроль	Дозировка, %	Прочность через, МПа		
		1 сутки	7 суток	28 суток
Al_2O_3	0	18,4	37,2	50,6
Al_2O_3	0,5	20,1	38,4	51,8
Al_2O_3	1,0	22,3	40,8	52,5
Al_2O_3	1,5	24,1	42,7	52,9
Al_2O_3	2,0	24,5	43,1	52,3
Al_2O_3	3,0	25,3	44,2	52,2
Al_2O_3	5,0	26,0	46,3	51,8

Таблица 4

Влияние добавок $Al(OH)_3$ на прочность цементного камня

Добавка Контроль	Дозировка, %	Прочность через, МПа		
		1 сутки	7 суток	28 суток
$Al(OH)_3$	0,5	19,2	38,0	51,2
$Al(OH)_3$	1,0	20,7	39,5	52,4
$Al(OH)_3$	1,5	21,9	40,7	53,1
$Al(OH)_3$	2,0	22,4	41,2	53,0
$Al(OH)_3$	3,0	22,4	41,8	52,8
$Al(OH)_3$	5,0	22,7	41,0	52,0

Анализ результатов показывает, что исследуемые добавки не только сокращают сроки схватывания, но и положительно влияют на раннюю прочность цементного камня. Максимальный эффект достигается при содержании оксида алюминия 1,5 %.

Микроструктурный анализ

Микроструктурные исследования показали, что введение алюмосодержащих добавок способствует формированию более плотной структуры цементного камня. В структуре наблюдается увеличение количества игольчатых кристаллов этtringита и пластинчатых гидроалюминатов кальция. Рисунок 1

Уплотнение структуры приводит к уменьшению общей пористости цементного камня и повышению его прочностных характеристик. Особенно заметный эффект наблюдается при дозировках 1,0–1,5 %.

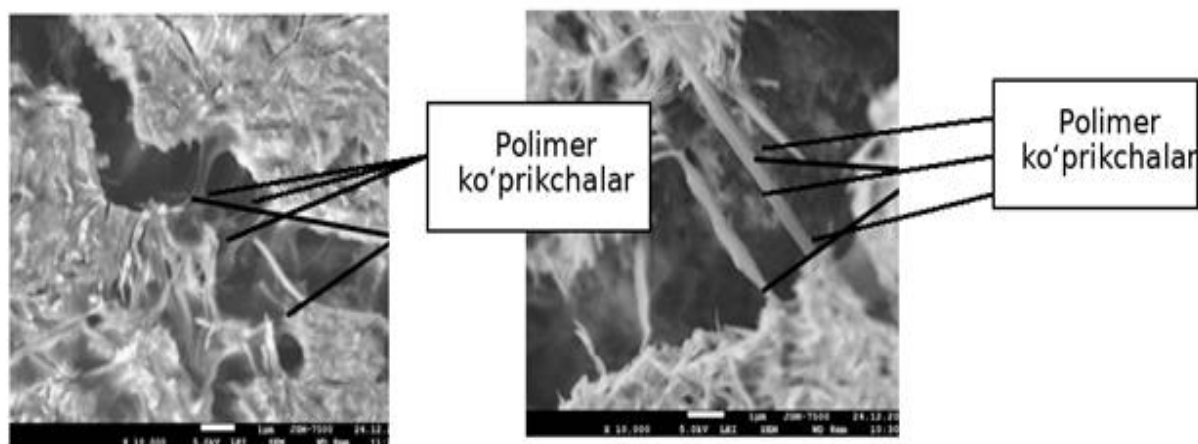


Рисунок 1. Микроструктурный анализ добавок Al_2O_3 образование новых кристаллических мостиков.

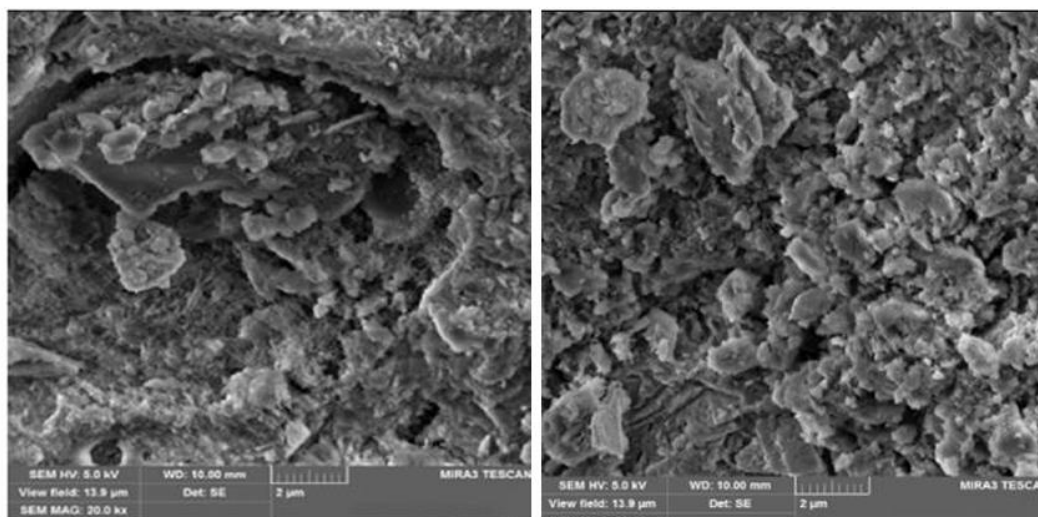


Рисунок 2 - Микроструктура 28-суточных образцов, увеличенная в 10 000 раз: слева - контроль, справа - с 1% $Al(OH)_3$

Обсуждение результатов

Ускорение схватывания объясняется увеличением концентрации алюминатных соединений в системе. Ионы алюминия активно участвуют в образовании гидроалюминатов кальция и этtringита, которые формируют пространственный каркас цементного камня уже на ранних стадиях твердения.

Оксид алюминия проявляет более высокую эффективность вследствие большей химической активности в щелочной среде цементного теста. Гидроксид алюминия действует более мягко, обеспечивая постепенное высвобождение ионов алюминия.

Графическое представление результатов.

Из графика видно, что увеличение дозировки алюмосодержащих добавок приводит к закономерному сокращению сроков начала схватывания. При содержании 2 % оксида алюминия время начала схватывания сокращается примерно на 32 %, тогда как гидроксид алюминия обеспечивает снижение на 23 %.

Из графика видно, что увеличение дозировки алюмосодержащих добавок приводит к закономерному сокращению сроков начала схватывания. При содержании 2 % оксида алюминия время начала схватывания сокращается примерно на 32 %, тогда как гидроксид алюминия обеспечивает снижение на 23 %.

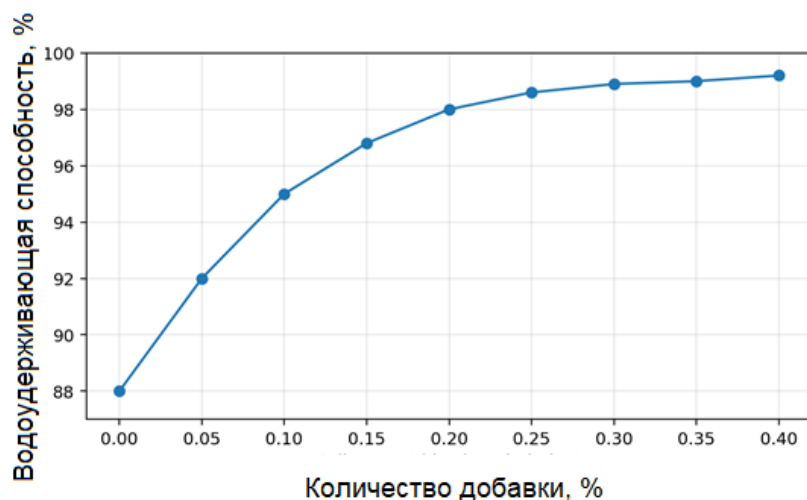


Рисунок 3 Повышение водоудерживающей способности, с введением добавки.

Экономическая эффективность применения добавок

Расчеты показывают, что сокращение сроков схватывания на 20–30 % позволяет:

уменьшить продолжительность технологического цикла;

повысить оборачиваемость форм на 10–15 %;

снизить затраты на тепловую обработку;

увеличить производительность предприятий сборного железобетона.

Экономический эффект особенно заметен при производстве сухих строительных смесей и изделий на основе цементных композиций.

Заключение

Установлено, что оксид алюминия и гидроксид алюминия оказывают ускоряющее воздействие на процессы схватывания цементных вяжущих.

Введение 2 % оксида алюминия сокращает время начала схватывания со 140 до 95 минут, а конца схватывания — с 225 до 170 минут.

Гидроксид алюминия также способствует ускорению схватывания, однако его влияние менее выражено по сравнению с оксидом алюминия.

Оптимальная дозировка исследованных добавок составляет 1,0–1,5 % от массы цемента, что обеспечивает эффективное регулирование сроков схватывания без риска чрезмерного ускорения гидратационных процессов.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке быстротвердеющих цементных композиционных материалов и специальных строительных растворов.

Список литературы

- [1]. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981.
- [2]. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Издательство АСВ, 2011.
- [3]. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1998.
- [4]. Рахимбаев Ш.М. Химические добавки в технологии бетона. – Ташкент, 2018.
- [5]. Neville A.M. Properties of Concrete. – London: Pearson Education, 2012.
- [6]. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. – New York, 2014.
- [7]. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. – London: Thomas Telford, 1997.
- [8]. ГОСТ 310.3-76. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
- [9]. EN 196-3. Methods of Testing Cement – Determination of Setting Times and Soundness.

- [10]. Scrivener K., Juilland P., Monteiro P. Advances in understanding hydration of Portland cement. Cement and Concrete Research, 2015.

TOSHKENT SHAROITIDA TASHQI DEVOR TO'SIQLARI VA DOIMIY TEMIRBETON QOLIPLI YIG'MA-MONOLIT KONSTRUKSIYALARNING TEXNOLOGIK ISHONCHLILIGINI OSHIRISH

Sh.A. Ibraximov

Toshkent arxitektura qurilish universiteti, Toshkent, O'zbekiston

*Mas'ul muallif, e-mail: shuxratibraximov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0345-2573>

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya. Maqolada Toshkent shahrining seysmik-iqlimiy sharoitida tashqi devor to'siqlari va doimiy temirbeton qolipli yig'ma-monolit konstruksiyalarning texnologik ishonchliligini oshirish masalalari yoritildi. Uch qatlamli devorlarda shishaplastik dyubellar va poliamid ankerlarning ishlashi, dyubelni kovakli g'isht tanasining ko'priklari zonasiga yo'naltirib o'rnatish zarurati, ikki qatlamli devorlarda polimer armaturalovchi to'sirlarni vazifasiga mos tanlash, shuningdek doimiy temirbeton qolip asosidagi zinapoya-lift uzeli devorlarini oqim usulida barpo etish bo'yicha tavsiyalar tizimlashtirildi. Qurilish jarayonida shablonlar, inventar reyka-tartiblash, kirish nazorati, betonlash qamrovini cheklash, foto-fiksatsiya va operativ chek-listlarni qo'llash orqali yoriqlanish, geometriya buzilishi va pardoz nuqsonlari xavfini kamaytirish imkoniyati asoslandi.

Kalit so'zlar: tashqi devor, uch qatlamli devor, ikki qatlamli devor, shishaplastik dyubel, polimer to'sir, doimiy temirbeton qolip, yig'ma-monolit devor, zinapoya-lift uzeli, betonlash, texnologik risk.

Аннотация. В статье освещены вопросы повышения технологической надежности наружных стеновых ограждений и сборно-монолитных конструкций с несъемной железобетонной опалубкой в сейсмоклиматических условиях города Ташкента. Систематизированы рекомендации по работе стеклопластиковых дюбелей и полиамидных анкеров в трехслойных стенах, необходимости установки дюбеля с направлением в зону перемычки пустотелого кирпича, соответствующему назначению выбору полимерных армирующих сеток в двухслойных стенах, а также по поточному возведению стен лестнично-лифтового узла на основе несъемной железобетонной опалубки. Обоснована возможность снижения риска трещинообразования, нарушения геометрии и дефектов отделки за счет применения шаблонов, инвентарной рейки-порядовки, входного контроля, ограничения захваток бетонирования, фотофиксации и оперативных чек-листов в процессе строительства.

Ключевые слова: наружная стена, трехслойная стена, двухслойная стена, стеклопластиковый дюбель, полимерная сетка, несъемная железобетонная опалубка, сборно-монолитная стена, лестнично-лифтовый узел, бетонирование, технологический риск.

Abstract. The article discusses the improvement of technological reliability of external wall envelopes and precast-monolithic structures with permanent reinforced concrete formwork under the seismic and climatic conditions of Tashkent. The paper systematizes recommendations for three-layer walls with fiberglass dowels and polyamide anchors, emphasizing the need to place dowels in the bridge zone of hollow brick units. It also considers the selection of polymer reinforcement meshes for two-layer walls and the flow-line construction of staircase and elevator core walls based on permanent reinforced concrete formwork. The use of templates, inventory setting rails, incoming quality control, limited concreting zones, photographic recording and operational checklists is substantiated as a way to reduce cracking, geometric deviations and finishing defects.

Keywords: external wall, three-layer wall, two-layer wall, fiberglass dowel, polymer mesh, permanent reinforced concrete formwork, precast-monolithic wall, staircase and elevator core, concreting, technological risk.

KIRISH

Toshkent shahrida ko'p qavatli turar-joy va jamoat binolarini qurishda monolit hamda yig'ma-monolit karkasli tizimlar keng qo'llanadi. Bunday binolarning ekspluatatsion sifati, bir

tomondan, yuk ko'taruvchi karkas va qattiqlashtiruvchi elementlarning ishonchliligiga, ikkinchi tomondan esa tashqi devor to'siqlarining issiqlik, namlik va deformatsion barqarorligiga bog'liq.

Keskin kontinental iqlim sharoitida yozgi yuqori harorat, qishki sovuq davrlar, shamol ta'siri va seysmik xavf tashqi devor qatlamlari, pardoq qoplamalari, ankerlar, armaturalovchi to'rlar va betonlash tugunlariga qo'shimcha talablar qo'yadi. Amaliyotda ko'p qatlamli devorlarda qoplama qatlamining deformatsiyasi, ikki qatlamli devorlarda suvoq yoriqlanishi, doimiy qolipli devorlarda beton zichlanishining yetarli bo'lmashligi kabi texnologik nuqsonlar uchrashi mumkin.

Mazkur maqolaning maqsadi - tashqi devor to'siqlari va doimiy temirbeton qolipli yig'ma-monolit elementlarda texnologik risklarni tizimlashtirish, tajriba natijalariga tayangan holda amaliy nazorat nuqtalarini belgilash va Toshkent sharoiti uchun konstruktiv-texnologik tavsiyalarni ishlab chiqishdir.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Tashqi devor to'siqlari bo'yicha tadqiqotlarda issiqlik himoyasi, namlik-transport jarayonlari, yoriqqa chidamlilik va qatlamlararo bog'lanish masalalari asosiy o'rin tutadi. Gazobeton, g'ovakli keramika bloklari va qoplama g'ishtdan iborat ko'p qatlamli devorlarda konstruktiv yechim bilan bir qatorda montaj texnologiyasi ham hal qiluvchi ahamiyatga ega [1,2,3].

Doimiy temirbeton qolip asosidagi yig'ma-monolit elementlar bo'yicha ilmiy-amaliy yondashuvlar zavodda tayyorlangan qobiq elementlarining geometriya aniqligi va maydondagi monolit beton bilan birgalikdagi ishlashini ta'minlashga qaratilgan. Bu tizimlarda beton qorishmasining harakatchanligi, zichlash usuli, ulovchi karkaslar qadami, himoya qatlami va qobiq-monolit o'zak ilashishi doimiy nazorat qilinishi kerak [7,8].

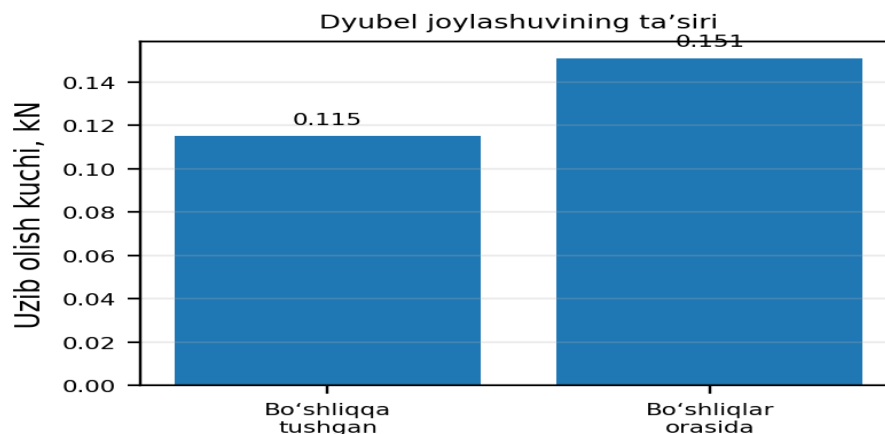
Seysmik hududlarda tashqi devorlar va qattiqlashtiruvchi yadrolar alohida mas'uliyatli elementlar hisoblanadi. Shuning uchun ularda "loyiha - texnologik karta - operativ nazorat - oraliq qabul qilish - ekspluatatsiya monitoringi" zanjiri uzluksiz ishlashi zarur. Mazkur yondashuv qurilishdagi nuqsonlarni yakuniy bosqichda emas, jarayonning o'zida aniqlash va kamaytirishga xizmat qiladi [4,5,6].

UCH QATLAMLI DEVORLARDA QATLAMLARARO BOG'LAMALAR

Uch qatlamli devorlar odatda ichki ko'taruvchi yoki o'zini ko'taruvchi qatlam, issiqlik izolyatsiyasi va tashqi himoya-dekorativ qatlamdan tashkil topadi. Qatlamlararo ishlashni ta'minlaydigan muhim elementlardan biri shishaplastik bog'lama-dyubellardir. Ular korroziyaga chidamliligi, issiqlik ko'priklarini kamaytirishi va montaj qulayligi bilan ajralib turadi.

Tajriba sinovlarida dyubelning uzib olishga chidamliligi asos materiali va o'rnatish holatiga sezilarli bog'liq ekanini aniqlandi. Gazobeton terimida yopishtiruvchi tarkibning turi, chok sifati va burg'ilash aniqligi natijaga ta'sir ko'rsatadi. Kovakli g'isht terimida esa dyubelning bo'shliqqa tushishi yoki bo'shliqlar orasidagi ko'priklar zonasida joylashishi asosiy omil bo'lib chiqadi.

Kuzatuvlar bo'yicha bo'shliqqa tushgan holatda uzib olish kuchi taxminan 0,115 kN atrofida bo'lgan, bo'shliqlar orasidagi ko'priklar zonasida esa o'rtacha qiymat taxminan 0,57 kN ga yetgan. Bu farq ankerlarni tasodifiy joylashtirishga yo'l qo'ymaslik, burg'ilash nuqtalarini oldindan belgilash va shablonlardan foydalanish zarurligini ko'rsatadi.



1-rasm. Dyubel joylashuviga qarab uzib olish kuchining o'zgarishi.

Jadval 1

Uch qatlamli devor bog‘lamalarini o‘rnatishda asosiy nazorat nuqtalari

Nazorat nuqtasi	Risk	Tavsiya etiladigan chora
Dyubel o‘rni	Dyubel kovakka tushsa, uzib olishga qarshilik kamayadi.	Burg‘ilash o‘qlarini shablon bilan belgilash, ko‘prik zonani aniqlash.
Burg‘ilash chuqurligi va diametri	Teshik kengayishi yoki yetarli chuqurlik bo‘lmasligi ankerlanishni pasaytiradi.	Cheklagichli burg‘i, nazorat namunasi va operativ o‘lchashdan foydalanish.
Choklarning to‘ldirilishi	Bo‘sh choklar suv kirishi va lokal deformatsiyani kuchaytiradi.	Qorishma qatlamini to‘liq to‘ldirish, oraliq qabul qilish va foto-fiksatsiya.
Qadam va sxema	Bog‘lamalar notekis joylashsa, tashqi qatlamda kuchlanishlar konsentratsiyasi yuzaga keladi.	Loyiha sxemasi va texnologik karta bo‘yicha inventar belgilash.
Material partiyasi	Dyubel yoki anker sifati partiyaga qarab farqlanishi mumkin.	Kirish nazorati, pasport va tanlab sinov natijalarini tekshirish.

IKKI QATLAMLI DEVORLARDA ARMATURALASH TO‘RLARI

Ikki qatlamli devorlar amaliyotda ko‘pincha gazobeton blok va tashqi suvoq qatlamidan iborat bo‘ladi. Bunday yechim tez qurilishi va iqtisodiylik bilan qulay, biroq suvoq qatlamida yoriqlanish, ajralish yoki namlik almashinuvi bilan bog‘liq shikastlanish xavfi mavjud. Shu sababli suvoq qatlamini polimer to‘rlar bilan armaturalash keng qo‘llanadi.

Polimer to‘rlar vazifasiga ko‘ra farqlanadi: ayrimlari g‘isht terish choklarini kuchaytirish uchun, boshqalari esa suvoq qatlamini yoriqqa chidamli qilish uchun mo‘ljallanadi. Tajribalar to‘rlarning uzilishga chidamliligi va cho‘zilish qobiliyati ishlab chiqaruvchi, partiya va qo‘llanish sohasi bilan bog‘liq ekanini ko‘rsatdi. Shuning uchun ularni faqat tashqi ko‘rinishiga yoki pasport qiymatlariga qarab almashtirib ishlatish to‘g‘ri emas.

Ikki qatlamli devorlarda armaturalovchi to‘rni tanlashda uchta mezon birgalikda baholanishi kerak: suvoq qatlamining deformatsiyasiga mos cho‘zilish qobiliyati, asos bilan adgeziya va ish sharoitidagi mustahkamlik. Kirish nazoratida tanlab uzish sinovlarini o‘tkazish, to‘rning ishchi yo‘nalishini belgilash va burchak, deraza atrofida kuchlanish konsentratsiyasi zonalarini alohida kuchaytirish maqsadga muvofiq.

DOIMIY TEMIRBETON QOLIPLI YIG‘MA-MONOLIT DEVORLAR

Zinapoya-lift uzeli devorlari, qattiqlashtiruvchi yadrolar va diafragmalar ko‘p qavatli binoning fazoviy qattiqligini ta‘minlaydigan mas‘ul elementlardir. Doimiy temirbeton qolip asosidagi yig‘ma-monolit devor texnologiyasi zavodda tayyorlangan yupqa temirbeton qobiqni maydonda montaj qilish va ichki bo‘shliqni monolit beton bilan to‘ldirishga asoslanadi. Bunda geometriya aniqligi, himoya qatlami va montaj sur‘ati an‘anaviy qolipga nisbatan barqarorroq bo‘lishi mumkin.

Biroq tor bo‘shliqda betonni joylashtirish va zichlash murakkab masala hisoblanadi. Agar bo‘shliq 80-120 mm atrofida bo‘lsa, oddiy chuqurlik vibratorini kiritish cheklanadi. Natijada havo bo‘shliqlari, qatlamlanish, qobiq bilan monolit o‘zak orasida ilashishning notekisligi yuzaga kelishi mumkin. Bunday holat mustahkamlik, suv o‘tkazmaslik va armatura himoya qatlamining sifatiga salbiy ta‘sir qiladi.

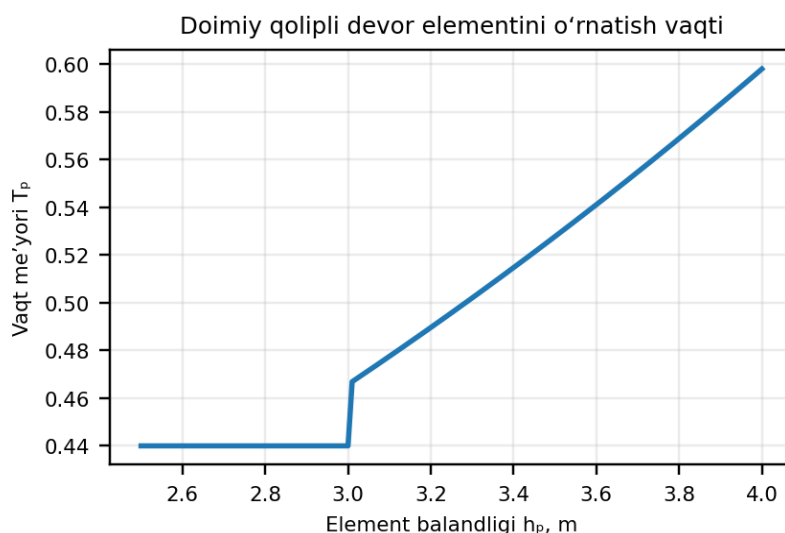
Tajriba-amaliy kuzatuvlar montaj va betonlashni oqim usulida tashkil etish ish ritmini barqarorlashtirishini ko‘rsatadi. Kuzatuvlar asosida montaj-betonlash jarayonlari uchun bo‘g‘inning ratsional tarkibi 4 kishidan iborat deb qabul qilindi; devor paneli va ulovchi armatura karkaslarini o‘rnatishning o‘rtacha davomiyligi 1 ta elementga taxminan 8,4 minut atrofida bo‘lishi qayd etildi.

Devor elementini o'rnatish bo'yicha vaqt me'yorini element balandligiga qarab tezkor baholash uchun quyidagi empirik bog'lanishlardan foydalanish mumkin:

$$T_p = 0,44 \quad (h_p \leq 3,0);$$

$$T_p = 0,22 \cdot e^{(0,25 \cdot h_p)} \quad (3 < h_p \leq 4,0) \quad (1)$$

Bu yerda T_p - devor elementini o'rnatish bo'yicha vaqt me'yori, h_p - element balandligi. Bunday bog'lanishlar ishni qamrovlar bo'yicha rejalashtirish, kran yuklamasini muvofiqlashtirish va betonlash ketma-ketligini aniqlashda amaliy yordam beradi.



2-rasm. Doimiy qolipli devor elementini o'rnatish vaqti me'yorining balandlikka bog'liqligi.

Jadval 2

Doimiy qolipli devor/yopmalarda texnologik risklar va ularni kamaytirish choralari

Texnologik risk	Namoyon bo'lishi	Kamaytirish choralari
Betonning yetarli zichlanmasligi	Havo bo'shliqlari, qatlamlanish, sirt nuqsonlari.	Yuqori harakatchan yoki o'z-o'zidan zichlanuvchi beton, qatlamlab quyish, tashqi vibratorlar.
Qobiq-monolit o'zak ilashishining pasayishi	Kesimning birgalikda ishlashi yomonlashadi.	Ichki sirtini qo'pol qilish, lattice-girder prinsipi, kern nazorati.
Geometriya og'ishi	Devor vertikaligi va tugunlar tutashuvida muammo yuzaga keladi.	Montajdan oldin tayanch sathini tekshirish, geodezik nazorat, vaqtinchalik mahkamlash.
Issiq havoda plastik yoriqlanish	Beton sirtida erta qurish va yoriqlar paydo bo'ladi.	Nam parvarish, soyali himoya, betonlash vaqtini mavsumga mos rejalashtirish.
Yer osti choklarida namlik kirishi	Gidroizolyatsiya buzilishi va armatura korroziyasi xavfi ortadi.	Waterstop lenta, injeksion shlang, elastik mastika va qo'shimcha himoya qatlami.

JORIY ETISH BO'YICHA TEXNOLOGIK TAVSIYALAR

Tavsiya etilayotgan yechimlarni amaliyotga joriy etish loyiha bosqichidan boshlanishi kerak. Tanlangan konstruktiv tizim va materiallar energiya samaradorligi, seysmik ishlash, yong'in xavfsizligi, ta'mirlashga yaroqlilik va nazorat qulayligi bo'yicha baholanadi. Shundan so'ng har bir mas'ul tugun uchun texnologik cheklovlar ro'yxati va nazorat nuqtalari aniqlanadi.

Ishchi hujjatlar bosqichida texnologik xarita, chek-listlar, qabul qilish dalolatnomalari va foto-fiksatsiya tartibi ishlab chiqilishi lozim. Uch qatlamli devorlarda anker o'rnatish shablonlari, ikki qatlamli devorlarda to'rni joylashtirish sxemalari, doimiy qolipli devorlarda esa betonlash qamrovining maksimal uzunligi va beton aralashmasi xossalari oldindan belgilanadi.

Pilot uchastka qurilishning dastlabki bosqichida tanlangan yechimlarni sinashga xizmat qiladi. Unda vaqt me'yorlari, brigada tarkibi, beton quyish tezligi, anker o'rnatish aniqligi va suvoq armaturalash sifati tekshiriladi. Pilot natijalariga qarab texnologik karta qayta ko'rib chiqiladi va keyingi qamrovlarda standart sifatida qo'llanadi.

Ekspluatatsiya bosqichi bilan bog'liqlik ham muhim. Bino boshqaruv xizmati uchun tugun pasportlari, yashirin ishlar foto-arxivi, material pasportlari va ta'mirlash bo'yicha tavsiyalar paketi topshirilishi kerak. Bu keyingi monitoring va servis ishlarini tizimli tashkil etishga imkon beradi.

Jadval 3

Tashqi devorlar va doimiy qolipli elementlar uchun minimal sifati nazorati dasturi

Bosqich	Nazorat obyekti	Usul
Kirish nazorati	Dyubel, anker, polimer to'r, beton komponentlari, qobiq elementlari.	Pasport tekshiruv, tanlab o'lchash, zaruratda laborator sinov.
Operativ nazorat	Burg'ilash o'qi, anker chuqurligi, to'r joylashuvi, qolip mahkamlanishi.	Chek-list, shablon, inventar reyka, foto-fiksatsiya.
Oraliq qabul qilish	Yashirin ishlar, armatura karkasi, qobiq va choklar, gidroizolyatsiya.	Dalolatnoma, geodezik o'lchash, vizual va instrumental tekshiruv.
Betonlash nazorati	Qorishma harakatchanligi, qatlamlab quyish, zichlash, parvarish.	Beton pasporti, harorat-namlik monitoringi, texnologik jurnal.
Ekspluatatsiyaga topshirish	Tugun pasportlari, foto-arxiv, servis reglamenti.	Hujjatlar paketi va monitoring rejasini topshirish.

XULOSA

1. Uch qatlamli tashqi devorlarda qatlamlararo bog'lama elementlarining ishonchliligi dyubelning asos materialidagi real joylashuviga bevosita bog'liq; kovakli g'ishtda ko'prik zonaga yo'naltirilgan o'rnatish barqarorroq natija beradi.

2. Ikki qatlamli devorlarda polimer to'rlarni vazifasiga mos tanlash va kirish nazoratida real sinov ma'lumotlariga tayanish suvoq qatlamining yoriqlanish xavfini kamaytiradi.

3. Doimiy temirbeton qolipli yig'ma-monolit devorlarda betonni joylashtirish va zichlash, qobiq-monolit o'zak ilashishi, harorat-parvarish rejimi va gidroizolyatsiya tugunlari alohida nazorat qilinishi lozim.

4. Shablonlar, inventar reyka-tartiblash, chek-listlar, foto-fiksatsiya va oraliq qabul qilishni joriy etish tashqi devorlar hamda yig'ma-monolit elementlarning texnologik ishonchliligini oshiradi.

Adabiyotlar

- [1]. Qosimov E. O'zbekiston qurilish ashyolari: o'quv qo'llanma. - Toshkent, 2003. - 203 b.
- [2]. Rahimov R.A. Devorbop ashyolarni ishlab chiqarish texnologiyasi: o'quv qo'llanma. - Urganch, 2017.
- [3]. QMQ 2.01.04-2018. Qurilish issiqlik texnikasi. - Toshkent, 2018.
- [4]. ShNQ 2.01.07-21 "Yuklamalar va ta'sirlar". O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi.
- [5]. ShNQ 2.01.06-25 "Seysmik hududlarda baland binolarni loyihalash". O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi.
- [6]. ShNQ 2.08.01-24 "Turar joy obyektlarini loyihalash". O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi.
- [7]. GOST 27751-2014. Qurilish konstruksiyalari va asoslarining ishonchliligi. Asosiy qoidalar.

- [8]. Fomin N.I. Organizatsionno-tekhnologicheskoe obespechenie kompleksnogo povysheniya ekspluatatsionnykh kachestv monolitnykh i sborno-monolitnykh grazhdanskikh zdaniy: dis. ... kand. tekhn. nauk. - Ekaterinburg, 2021.
- [9]. Rahmonov B.S., Siddiqov M.X. Binolar zilzilabardoshligi: o'quv qo'llanma. - Urganch, 2017.
- [10]. ShNQ 3.04.01-21 "Izolyatsiya va pardoqlash qoplamalari". O'zbekiston Respublikasi qurilish sohasidagi normativ hujjati.
- [11]. GOST 31356-2007. Quruq qurilish qorishmalari. Sinov usullari.

GEOPOLIMER BETONNING MUSTAHKAMLIK VA CHIDAMLILIK KO'RSATKICHLARINI AN'ANAVIY BETON BILAN QIYOSIY TAHLILI

A.T. Ilyasov^{1*}, A.K. Nazibekov²

¹Qoraqalpoq davlat universiteti

*Mas'ul muallif, e-mail: allanazar86@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6973-4545>

²Toshkent davlat transport universiteti

E-mail: azamatnazibekov@gmail.com

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

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda infratuzilma qurilishi uchun ortib borayotgan beton talabi fonida, tsement ishlab chiqarishdan kelib chiqadigan yuqori energiya sarfi va CO₂ chiqindilarini kamaytirish maqsadida geopolimer betonning imkoniyatlari o'rganildi. Sanoat chiqindilari — 60% uchuvchi kul va 40% maydalangan donador domna shlaki asosida tayyorlangan geopolimer beton va an'anaviy beton 7 va 28 kunlik davrlarda sinovdan o'tkazildi. Natriy gidroksid va natriy silikat eritmaları yordamida faollashtirilgan geopolimer beton **siqilishga**, cho'zilishga, kislotalarga hamda xlorid ionlariga chidamlilik bo'yicha an'anaviy betondan yuqori natijalar ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: uchuvchi kul, maydalangan donador domna shlaki, mustahkamlik sinovlari (**siqilishga** va cho'zilishga mustahkamlik), chidamlilik sinovlari (kislota ta'siriga chidamlilik sinovi va xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanlik sinovi).

Аннотация. В данном исследовании рассматривается потенциал применения геополимерного бетона для снижения высокого энергопотребления и выбросов CO₂, связанных с производством цемента, на фоне возрастающего спроса на бетон в инфраструктурном строительстве. Проведены испытания геополимерного бетона, изготовленного на основе промышленных побочных продуктов — 60 % золы-уноса и 40 % тонкоизмельчённого гранулированного доменного шлака, а также традиционного бетона в возрасте 7 и 28 суток. Геополимерный бетон, активированный растворами гидроксида натрия и жидкого стекла, показал более высокие эксплуатационные характеристики по сравнению с традиционным бетоном при испытаниях на прочность при сжатии и растяжении, а также по стойкости к воздействию кислот и проникновению хлорид-ионов.

Ключевые слова: зола-унос, тонкоизмельчённый гранулированный доменный шлак, прочностные испытания, прочность при сжатии, прочность при растяжении, испытания долговечности, кислотостойкость, ускоренное определение проницаемости для хлорид-ионов.

Abstract. This study investigates the potential of geopolymer concrete to reduce the high energy consumption and CO₂ emissions associated with cement production, amidst the growing demand for concrete in infrastructure construction. Geopolymer concrete, made from industrial by-products (60% fly ash and 40% ground granulated blast-furnace slag), and conventional concrete were tested at 7- and 28-day intervals. The geopolymer concrete, activated with sodium hydroxide and sodium silicate solutions, showed superior performance to conventional concrete in tests for compressive and tensile strength, as well as resistance to acids and chloride ions.

Keywords: fly ash, granulated ground blast-furnace slag, strength tests (compressive and tensile strength), durability tests (acid resistance test and rapid chloride permeability test).

1. Kirish.

Infratuzilma qurilishi sohasida beton mahsulotlariga bo'lgan talabning jadal ortib borishi tsement ishlab chiqarish hajmini ham keskin oshirmoqda. Tsement ishlab chiqarish esa juda ko'p energiya talab qiladi hamda katta miqdorda karbonat angidrid (CO_2) chiqindilarini keltirib chiqaradi, bu esa global isish muammosini yanada kuchaytiradi. Shu bois, atrof-muhitga zararini kamaytirish imkonini beruvchi muqobil bog'lovchi materiallarni izlash dolzarb masalaga aylangan.

Geopolimerlar — tarkibida kremniy (Si) va alyuminiy (Al) elementlari amorf shaklda mavjud bo'lgan, ishqoriy aktivatorlar yordamida qotadigan alyuminosilikat asosli materiallardir. Ular kimyoviy tarkibi jihatidan tabiiy zeolitlarga o'xshash, ammo mikrostrukturasi amorf bo'lib, uch o'lchamli shisha strukturasi ega. Geopolimer ishlab chiqarishda turli sanoat chiqindilari va tabiiy materiallar xomashyo sifatida ishlatiladi. Jumladan, metakaolin, past kaltsiyli F sinfidagi uchuvchi kul, metakaolin + uchuvchi kul aralashmasi, organik Al-Si minerallari, kalsinatsiyalangan va kalsinatsiyalanmagan minerallar kombinatsiyasi hamda maydalangan donador domna shlaki kabi materiallar keng qo'llanadi.

Ushbu tadqiqotda tsement o'rnini sanoat chiqindilari — uchuvchi kul va maydalangan donador domna shlaki bilan qisman almashtirish orqali geopolimer beton ishlab chiqarish, uning **siqilishga**, cho'zilishga va turli kimyoviy muhitlarga chidamlilik xususiyatlarini o'rganish hamda an'anaviy beton bilan taqqoslash maqsad qilingan. Shu yo'l bilan tsement iste'molini hamda CO_2 chiqindilarini kamaytirish, ekologik toza va barqaror qurilish materialini yaratish imkoniyatlari baholandi.

2. Materiallar.

1) Qum (mayda to'ldiruvchi): Mahalliy maydalangan qum mayda to'ldiruvchi sifatida ishlatildi. Mayda to'ldiruvchilarda quyidagi sinovlar o'tkazildi:

1-jadval

Mayda to'ldiruvchi sinov natijalari

Xususiyatlar	O'rtacha qiymat
Solishtirma og'irlik	2.91
Maydalik moduli	3.69

2) Tsement: Mahalliy ishlab chiqarilgan oddiy portland tsementi oddiy beton namunalarini tayyorlashda ishlatildi.

2-jadval

Oddiy Portland tsement sinov natijalari

Xususiyatlar	O'rtacha qiymat
Maydalik	1.38 %
Standart quyuqlik	36 %
Dastlabki qotish vaqti	45 daqiqa
Yakuniy qotish vaqti	11 soat

3) Yirik to'ldiruvchi: Yirik to'ldiruvchi sifatida 20 mm o'lchamdagi mahalliy maydalangan shag'al ishlatildi. Quyidagi sinovlar o'tkazildi:

3-jadval

Yirik to'ldiruvchi sinov natijalari

Xususiyatlar	O'rtacha qiymat
Solishtirma og'irlik	3.32
Maydalanish moduli	5.65 %

4) Uchuvchi kul: F sinfidagi uchuvchi kul asosiy xomashyo sifatida ishlatildi.

5) Maydalangan donador domna shlaki: Maydalangan donador domna shlaki bog'lovchi modda miqdorining 40 % ni tashkil etadi, qolgan 60% ni esa uchuvchi kul egallaydi.

6) Ishqoriy eritma: Mazkur tadqiqot uchun geopolimer aralashmasining mustahkamlik va chidamlilik xususiyatlarini tekshirish maqsadida, natriy gidroksid eritmasining 10 molyar konsentratsiyasi tanlandi. $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH}$ nisbati esa 2:1 etib belgilandi. NaOH eritmasi bilan ishlashda alohida ehtiyotkorlik va xavfsizlik choralarini ko'rish talab etiladi, chunki jarayon davomida yuz beradigan yuqori ekzotermik reaksiyalar inson terisi va ko'zlariga zarar yetkazishi mumkin.

7) Xlorid kislota, natriy xlorid, natriy gidroksid:

- **1% konsentratsiyadagi xlorid kislota (HCl)** – kislota ta'siriga chidamlilik sinovlari uchun ishlatildi.
- **natriy xlorid (NaCl) va natriy gidroksid (NaOH)** – xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanlik sinovi uchun ishlatildi. Betonning chidamlilik xususiyatlarini baholashda ushbu eritmalardan foydalaniladi.

3. Metodologiya.

A) An'anaviy beton: An'anaviy beton aralashmasi tayyorlab olindi. Betonni tayyorlashda o'rtacha mustahkamlik, suv-tsement nisbati, suv miqdori, tsement miqdori va yirik hamda mayda to'ldiruvchilar nisbati hisoblab chiqildi.

4-jadval

An'anaviy beton (1 m³) aralashmasi

Tarkibiy qism	Tsement	Suv	Mayda to'ldiruvchi (qum)	Yirik to'ldiruvchi (20 mm)	Yirik to'ldiruvchi (10 mm)	Qo'shimcha modda	Suv-tsement nisbati
Miqdor (kg)	315	156.9	822	666	444	3.465	0.5

B) Geopolimer beton: Geopolimer betonning aralashma tarkibi uchun quyidagi materiallar ishlatildi:

- Bog'lovchi miqdori: 1 m³ geopolimer beton uchun 315 kg = 60% uchuvchi kul (189 kg/m³) + 40% maydalangan donador domna shlaki (126 kg/m³).
- Ishqoriy eritma: $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 2/1$, NaOH konsentratsiyasi 10 M.
- Ishqoriy eritma miqdorining bog'lovchi miqdoriga nisbati 0.55 (bog'lovchi miqdorining 55 foizi).
- Ishlovchanlikni ta'minlash uchun superplastifikator qo'shildi.

C) Sinov usullari: Geopolimer va an'anaviy beton quyidagi tartibda tayyorlandi:

1. Quruq aralashtirish: yirik to'ldiruvchi, mayda to'ldiruvchi, uchuvchi kul va maydalangan donador domna shlaki 5 daqiqa aralashtirildi.
2. Eritma qo'shish: ishqoriy eritma qo'shib, 4–5 daqiqa aralashtirildi.
3. Qoliplarga quyish:
 - a) 150×150×150 mm o'lchamdagi kub namuna
 - b) diametri 150 mm va balandligi 300 mm o'lchamdagi silindr namuna
 - c) diametri 100 mm va balandligi 50 mm bo'lgan silindr namuna.
4. Qotish: Qolipdan chiqarilgandan so'ng geopolimer namunalari xona haroratida tabiiy sharoitda qotirildi, beton namunalari esa suvga botirildi.

D) Yakuniy aralashma: Geopolimer beton uchun bog'lovchi miqdori 60% uchuvchi kul + 40% maydalangan donador domna shlaki nisbati tanlandi: Ular 10 M ishqoriy eritma bilan 7 va 28 kunlik davrda an'anaviy beton bilan taqqoslandi.

4. Natijalar va muhokama.

Ushbu tadqiqotda qiyosiy tahlil o'tkazish uchun quyidagi sinovlar amalga oshirildi:

1. **Siqilishga** mustahkamlik sinovi

2. Cho‘zilishga mustahkamlik sinovi
3. Kislota ta’siriga chidamlilik sinovi
4. Xlorid ionlarining tez o‘tkazuvchanlik sinovi

1) Siqilishga mustahkamlik sinovi

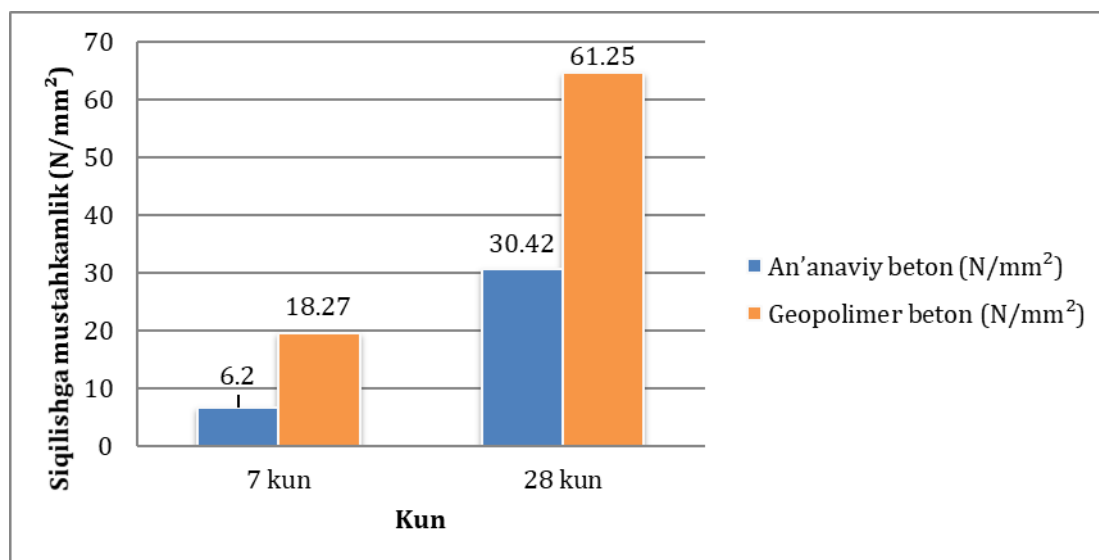
Betonning siqilishga sinovi 150x150x150 mm o‘lchamdagi kub namunalarini 7 kun va 28 kun davomida normal sharoitda hamda xona haroratida qotirib, sinovdan o‘tkazish orqali amalga oshirildi va natijalar 5-jadvalga qayd etildi.

5-jadval

Siqilishga mustahkamlik natijalari (7 va 28 kun)

№	Kun	An'anaviy beton (o'rtacha, N/mm ²)	Geopolimer beton (60% uchuvchi kul va 40% maydalangan donador domna shlaki)
1	7	6.2	18.27
2	28	30.42	61.25

Jadvaldan 7 va 28 kunlarda geopolimer beton an'anaviy betondan ancha yuqori mustahkamlikka erishishini ko'rish **mumkin**.



1-rasm. 7 va 28 kunlik o'rtacha siqilishga mustahkamlik grafigi.

2) Cho‘zilishga mustahkamlik sinovi

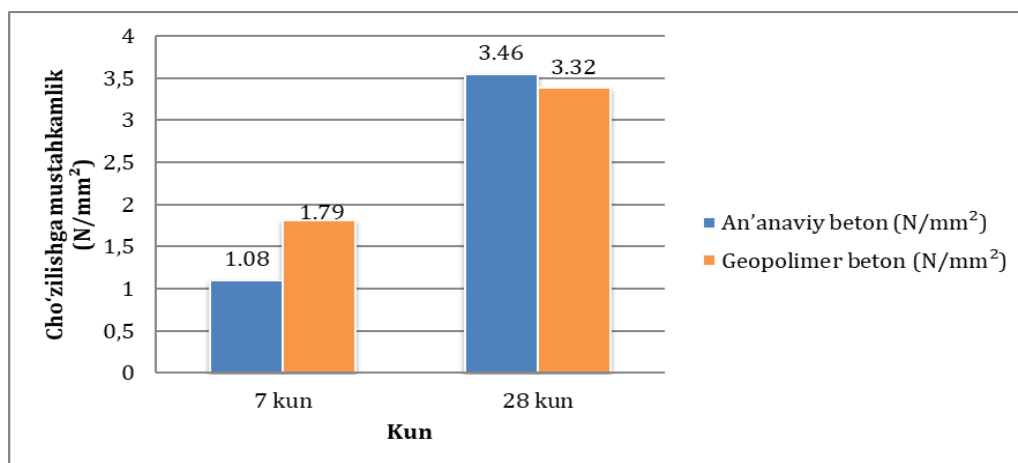
An'anaviy beton va geopolimer betonlarning cho‘zilishdagi mustahkamlik sinovi balandligi 300 mm va diametri 150 mm bo‘lgan silindrlarni normal sharoitda 7 va 28 kun davomida qotirish hamda xona haroratida saqlash orqali o‘tkazildi.

6-jadval

Cho‘zilishga mustahkamlik natijalari (N/mm²)

№	Kun	An'anaviy beton	Geopolimer beton (60% uchuvchi kul va 40% maydalangan donador domna shlaki)
1	7	1.08	1.79
2	28	3.46	3.32

Bu jadvalda esa 7 kunda geopolimer beton an'anaviy betondan yuqori natija berishi, 28 kunda esa an'anaviy beton ozgina ustun bo'lishi ko'rsatilgan.



2-rasm. 7 va 28 kunlik o'rtacha cho'zilishga mustahkamlik grafigi.

3) Kislota ta'siriga chidamlilik sinovi

1% konsentratsiyali xlorid kislota (HCL) agressiv kanalizatsiya muhitiga xos deb hisoblanadi va kislota chidamlilikni tekshirish uchun 1% li xlorid kislota (HCL) eritmasidan foydalanildi. $150 \times 150 \times 150$ mm o'lchamli beton kub namunalari 60 kun davomida 1% li xlorid kislota eritmasiga botirildi. Kislota ta'siridan keyin namunalarning og'irlik yo'qotish foizi aniqlanib, qayd etildi.

7-jadval

Kislota ta'siridan keyingi o'rtacha og'irlik yo'qotilishi

Beton turi	Oldingi og'irlik (kg)	Keyingi og'irlik (kg)	Yo'qotish (kg)	Foiz (%)
An'anaviy beton	8.439	8.412	0.027	0.32
Geopolimer beton (60% uchuvchi kul + 40% maydalangan donador domna shlaki)	8.334	8.318	0.016	0.19

Jadvalga ko'ra, kislota ta'sirida eritmada 60 kun davomida saqlangandan so'ng, geopolimer beton kubining og'irlik yo'qotish foizi an'anaviy betonga nisbatan ancha kamligi (sal kam ikki karra) va uning kislotalarga chidamliligi yuqoriroq ekani kuzatildi. Jadvaldan an'anaviy beton o'zining 0.33% og'irligini, geopolimer beton esa 0.18% og'irligini yo'qotganini ko'rishimiz mumkin.

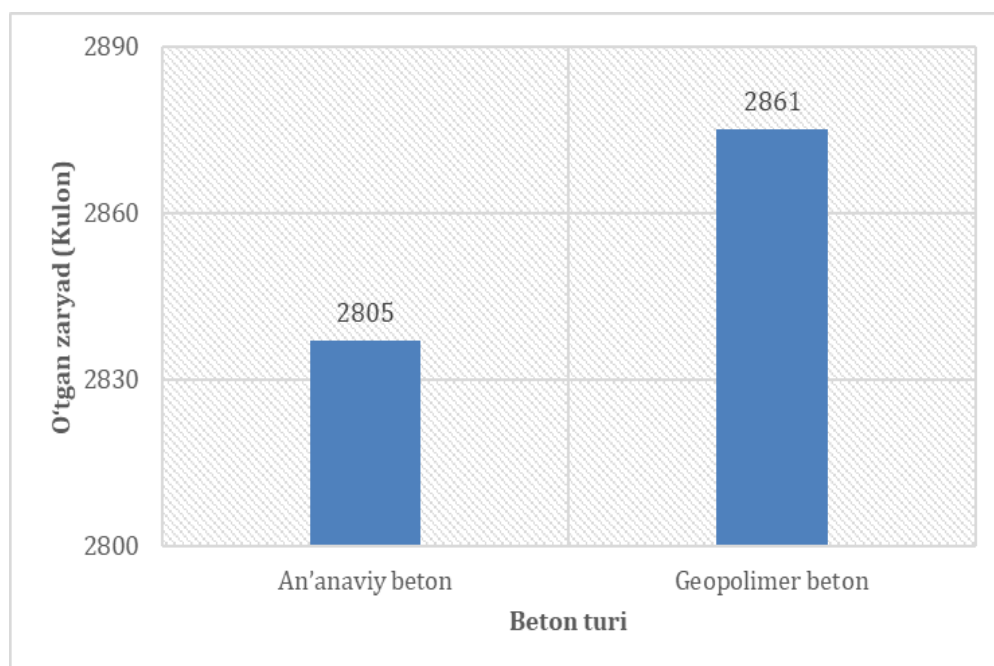
4) Xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanlik sinovi

Qalinligi 50 mm va diametri 100 mm bo'lgan beton namunalar sinov namunasi sifatida ishlatildi. Xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanlik sinovi sinov namunalari orqali o'tgan zaryad miqdori (kulonlarda) qayd etildi. Kulonlarda o'lchangan o'tgan zaryad miqdori ikkala betonda taxminan teng bo'ldi (7-jadval). Chunki bu farq juda kichik va amaliy jihatdan katta ustunlik bermaydi.

8-jadval

Xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanlik sinovi natijalari

Beton turi	O'tgan zaryad (Kulon)
An'anaviy beton	2805
Geopolimer beton (60% uchuvchi kul + 40% maydalangan donador domna shlaki)	2861



3-rasm. Xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanlik sinovi natijalari grafigi.

5. Xulosa

Ushbu tadqiqotda 60% uchuvchi kul + 40% maydalangan donador domna shlaki asosida tayyorlangan geopolimer betonning mustahkamlik va chidamlilik xususiyatlari an'anaviy beton bilan taqqoslandi va taqqoslash natijasida quyidagi xulosalar olindi:

1. **Siqilishga** mustahkamlik – 7 va 28 kunlik qotish davrlarida geopolimer betonning **siqilishga** mustahkamligi an'anaviy betondan kata farq bilan ustun bo'ldi
2. Cho'zilishga mustahkamlik – 7 kunda geopolimer beton an'anaviy betondan yuqori natija berdi, 28 kunda esa an'anaviy beton ozgina ustun bo'ldi.
3. Kislota ta'siriga chidamlilik – 60 kun davomida 1% HCl eritmasida saqlanganda geopolimer betonning o'rtacha og'irlik yo'qotishi an'anaviy betondagidan pastroq bo'ldi. Bu geopolimer betonning kislota ta'siriga nisbatan yaxshiroq chidamliligini ko'rsatadi.
4. Xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanlik sinovi natijalari – Xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanlik sinovida an'anaviy va geopolimer betonlarda o'tgan zaryad miqdori deyarli bir xil bo'ldi.
5. Ishqoriy eritma ta'siri – Geopolimer betonda natriy gidroksid (NaOH) miqdorini oshirish mustahkamlikni oshiradi.

Adabiyotlar

- [1]. Comparison of Geopolymer Fly Ash and OPC to the Strength of Concrete, A.M. Mustafa Al Bakri, H. Kamarudin, M. Binhussain, I. Khairul Nizar, A.R. Rafiza, Y. Zarina, December 2013 (Journal of Computational and Theoretical Nanoscience).
- [2]. Mechanical Properties of Fly Ash and GGBS Blended Geopolymer Concrete Using Different Fine Aggregates, P. Ukesh Praveen, Dr. J. Guru Jawahar, K. Sai Abhinav, C. Sashidhar, June 2016 (IRJET Journal).
- [3]. Durability Performance of Geopolymer Concrete under Sulphate and Acid Exposure, P. Somiyadevil, A. Aruna, Assistant Professor, PG Student, April 2012 (IJESC journal).
- [4]. Performance of Fly Ash and GGBS Based Geopolymer Concrete in Acid Environment, J. Guru Jawahar, D. Lavanya, C. Sashidhar, August 2016 (IJRSI journal).
- [5]. Comparison of Mechanical Strengths and Resistance to Acidic Conditions, Permeability and Resistance to Elevated Temperatures of Geopolymer Concrete and Conventional Concrete, Amir Bahador Moradikhoh, Majid Safehian, 15 May 2021 (ARCE Journal).
- [6]. Study on Strength and Durability Parameters of Geopolymer Concrete with GGBS for 12M and 14M Alkali Activators, Md. Ishaq Jaffery, Y. Himath Kumar, August 2014 (ARPN journal).

- [7]. Effect of Aggressive Chemical Environment on Durability of Green Geopolymer Concrete, Neetu Singh, Sameer Vyas, R.P. Pathak, Pankaj Sharma, N.V. Mahure, S.L. Gupta, October 2013 (IJEIT journal).
[8]. Strength and Durability Test of Fly Ash and GGBS Based Geopolymer Concrete, Ajay Kumar Singh, August 2016 (IJERA journal).

TURLI XIL ARMATURALARNING KO'PIKBETON BILAN TISHLASHISHINI O'RGANISH

A.B. Alimbaev

Qoraqalpoq davlat universiteti

Mas'ul muallif, e-mail: aybekalimbaev711@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1226-6061>

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya: Beton kubdan o'zakni sug'urib olish usuli bilan ko'pikbetonning shisha kompozitli, bazalt kompozitli va metall armaturalar bilan tishlashish parametrlarini tadqiq etish natijalari keltirilgan. Armaturaning ko'pikbeton bilan birgalikda eng yaxshi ishlashiga shisha kompozitli armatura qo'llanilganda erishish mumkinligi aniqlandi. Uning B7,5 (D1400) va B10 (D1600) sinfidagi ko'pikbetonlar bilan tishlashish mustahkamligi chegarasi bazalt kompozitli va metall armaturalarning tishlashish mustahkamligi qiymatlaridan, mustahkamlik sinflari va armatura diametrlarining ($\emptyset$ 6, 8, 10 mm) barcha kombinatsiyaviy variantlarida 20–45% yuqori ekani aniqlandi. Betonning mustahkamlik sinfi ortishi bilan tadqiq etilgan barcha turdagi armatura mahsulotlarining tishlashish mustahkamligi chegarasi ham qonuniy ravishda ortib boradi. Shu bilan birga, armaturaning diametri o'zgartirilganda uning ko'pikbeton bilan tishlashish mustahkamligining o'zgarishi ko'rib chiqilgan armatura turlari uchun turlicha qonuniyatlarga ega bo'ladi.

Kalit so'zlar: ko'pikbeton, kompozit armatura; metall armatura; armaturaning beton bilan tishlashish mustahkamligi chegarasi.

Аннотация: Приведены результаты исследования параметров сцепления пенобетона со стеклокомпозитной, базальтокомпозитной и металлической арматурой методом вырыва стержня из бетонного куба. Установлено, что наилучшая совместная работа арматуры с пенобетоном достигается при применении стеклокомпозитной арматуры. Её предел прочности сцепления с пенобетонами классов B7,5 (D1400) и B10 (D1600) оказался на 20–45% выше значений прочности сцепления базальтокомпозитной и металлической арматуры во всех комбинациях классов прочности и диаметров арматуры ($\emptyset$ 6, 8, 10 мм). С повышением класса прочности бетона предел прочности сцепления всех исследованных видов арматурных изделий также закономерно возрастает. Вместе с тем, изменение прочности сцепления арматуры с пенобетоном при изменении её диаметра имеет различные закономерности для рассмотренных видов арматуры.

Ключевые слова: пенобетон, композитная арматура; металлическая арматура; предел прочности сцепления арматуры с бетоном.

Abstract: This paper presents the results of a study on the bonding parameters of foam concrete with glass-composite, basalt-composite, and steel reinforcement, conducted using the pull-out test method on concrete cubes. It was determined that the best performance of reinforcement in conjunction with foam concrete is achieved when using glass-composite rebar. It was established that its ultimate bond strength with B7.5 (D1400) and B10 (D1600) class foam concrete is 20–45% higher than the bond strength values of basalt-composite and steel reinforcement across all combinations of strength classes and rebar diameters ($\emptyset$ 6, 8, and 10 mm). As the strength class of the concrete increases, the ultimate bond strength of all studied types of reinforcement products also naturally increases. At the same time, when the rebar diameter is changed, the variation in its bond strength with foam concrete follows different patterns for the

types of reinforcement considered.

Keywords: *foam concrete; composite reinforcement; steel reinforcement; ultimate bond strength of reinforcement with concrete.*

Kirish. Issiqlik samaradorligi yuqori bo'lgan uy g'oyasini amalga oshirishning asosiy muammolaridan biri uning yuk ko'taruvchi va to'suvchi konstruksiyalari uchun samarali materiallar tanlash masalasidir. Bunda materiallar va konstruksiyalar o'z vazifalariga ko'ra binolarning istiqbolli me'moriy-qurilish va konstruktiv tizimlariga moslashtirilgan bo'lishi lozim. Bugungi kunda ommaviy shahar qurilishida eng samarali usul binolarning turli konstruktiv tizimlarida samarali to'suvchi konstruksiyalar materiali sifatida gazosilikatdan foydalangan holda yig'ma-monolit qurilish hisoblanadi. Biroq, yakka tartibdagi uy-joy qurilishida, ayniqsa, ishlab chiqarish infratuzilmasi rivojlanmagan hududlarda, qurilish texnikasidan minimal darajada foydalanishni hamda texnologik yechimlarning soddaligini ta'minlaydigan qurilish texnologiyalari va ularga moslashtirilgan materiallarga ehtiyoj katta.

Shu munosabat bilan, monolit kam qavatli qurilishda bino konstruksiyalarini barpo etish uchun turli zichlikdagi penobetonlardan foydalanish ancha istiqbolli ko'rinadi. Tadqiqotlarimiz [1] shuni ko'rsatdiki, an'anaviy gazosilikat va yig'ma temirbetonli konstruksiyalarga nisbatan monolit penobetonidan foydalanish mashina va mexanizmlarga qilinadigan xarajatlarni 30-50% ga, konstruksiyalar massasini 20-60% ga, materiallar sarfini esa binoning 1 m² uchun umumiy xarajatlar deyarli bir xil bo'lgan holda 20-40% ga kamaytirish imkonini beradi.

Ushbu ishlar doirasida $\rho = 800-1600 \text{ kg/m}^3$ zichlikdagi, turli strukturaviy modifikatsiyalarga ega penobetonlarni olishning retseptura-texnologik omillari aniqlandi, ularning issiqlik-fizikaviy, mustahkamlik va deformativ xususiyatlari majmuasi tizimli o'rganildi. Uzoq muddatli jarayonlarning ta'siri hisobga olingan holda, penobetonlarning hisobiy xarakteristikalari belgilandi [4].

Shu bilan birga, penobeton asosidagi konstruksiyalarni hisoblash va loyihalash uchun zarur bo'lgan, konstruksiyalarning yuk ko'tarish qobiliyatining muhim omillaridan biri hisoblangan penobetonlarning armatura bilan tishlashish parametrlari to'g'risida kompleks ishonchli ma'lumotlar mavjud emas. Ta'kidlash joizki, metall armaturaning turli sinflardagi sementli og'ir va yengil betonlar [5-10], shuningdek, silikatli g'ovak betonlar [10-14] bilan birgalikdagi ishlashi ancha to'liq o'rganilgan. Natijada, ushbu beton turlari bilan eng yaxshi tishlashishni ta'minlaydigan metall armaturaga qo'yiladigan talablar ma'lum. Shu bilan birga shuni alohida ta'kidlash kerakki, metall armaturaning korroziyaga uchrashi muammosi tufayli hozirgi vaqtda zamonaviy kompozitsion materiallar asosida metall armaturani no metall armaturaga almashtirish yo'llarini izlash bo'yicha faol tadqiqotlar olib borilmoqda [15-18].

Konstruksiyalarda beton va armaturaning birgalikda ishonchli ishlashini ta'minlaydigan asosiy shartlar quyidagilardir:

- armaturaning beton ichida sug'urilishini (siljishini) istisno qiladigan, ularning tutashuv yuzasi bo'ylab armaturaning beton bilan tishlashishi;
- betonning armatura korroziyasining oldini olish bo'yicha himoya xususiyatlari;

- beton va armaturaning chiziqli deformatsiya koeffitsiyentlari qiymatlari. Ko'pikbetonlarga nisbatan ushbu shartlarning amalga oshishiga quyidagi omillar ta'sir ko'rsatishi mumkin. Birinchidan, ko'pikbeton makrog'ovak material sifatida armatura yuzasi bilan bir xil bo'lmagan kontakt qatlamga ega bo'ladi, bu esa tishlashish qiymatiga tabiiy ravishda ta'sir qiladi. Ikkinchidan, ko'pikbeton boshqa beton turlariga qaraganda pastroq mustahkamlikka va yuqoriroq deformatsiyalanuvchanlikka ega ≈ 4 . Shu sababli, ko'pikbetondan yuqori mustahkamlikdagi metall armaturaning sug'urilish (siljish) ehtimoli yuqori. Natijada, ko'pikbetondan yasalgan konstruktiv elementlarda metall armaturaning konstruktiv salohiyatidan to'liq foydalanilmasligi mumkin. Uchinchidan, zich betondan farqli o'laroq, ko'pikbetonning makrog'ovak strukturasi metall armaturani korroziyadan himoyalashni ta'minlay olmasligi mumkin. Shu bois, tadqiqotning asosiy muammosi armaturaning ko'pikbeton bilan eng yaxshi birgalikda ishlashini ta'minlaydigan armaturaga (turiga, fizik-mexanik xususiyatlariga, profiliga, diametriga) qo'yiladigan talablarni

aniqlashdan iborat. Birinchidan, ko'pikbeton makrog'ovakli material sifatida armatura yuzasi bilan bir jinsli bo'lmagan kontakt qatlamga ega bo'ladi, bu esa tabiiy ravishda ilashish qiymatiga ta'sir ko'rsatadi. Ikkinchidan, ko'pikbeton boshqa beton turlariga nisbatan pastroq mustahkamlikka va yuqori deformatsiyaga ega 4. Shuning uchun ko'pikbetondan yuqori mustahkamlikka ega bo'lgan metall armaturalarning siljish ehtimoli yuqori. Natijada, ko'pikbetonli konstruktiv elementlarda metall armaturaning konstruktiv salohiyatidan to'liq foydalanilmasligi mumkin. Uchinchidan, zich betondan farqli o'laroq, ko'pikbetonning makrog'ovakli tuzilishi metall armaturani korroziyadan himoya qilishni ta'minlamasligi mumkin.

Tadqiqot obyektlari sifatida quyidagi armatura turlari tanlandi:

- an'anaviy taqqoslash asosi sifatida metall armatura;
- qurilish amaliyotiga faol joriy etilayotgan armaturaning muqobil variantlari sifatida shishakompozit va bazaltkompozit armaturalar.

Mazkur maqolada binolarning siqilgan va egiluvchan konstruktiv elementlari uchun material sifatida qaraladigan, o'rtacha zichligi $1400\text{--}1600\text{ kg/m}^3$ bo'lgan ko'pikbeton bilan yuqorida ko'rsatilgan armatura turlarining tishlashish qiymatini tadqiq etish natijalari muhokama qilinadi.

Materiallar va usullar

1. Materiallar va tadqiqot omillari maydonining tavsifi

"Ko'pikbeton-armatura" tizimida tishlashish parametrlarini tadqiq qilish bo'yicha o'tkazilgan tajribalarda quyidagi omillar o'zgartirib borildi.

1. Armatura turi va diametri. Bunda barcha armatura mahsulotlari o'xshash davriy profilga ega edi.

2. Ko'pikbetonning o'rtacha zichligi. Bunda beton tarkibi sement va qumning massa nisbati bo'yicha o'zgarmas qoldirildi; o'rtacha zichlikni rostlash suv va sirt faol moddalar (SFM) kimyoviy qo'shimchalari miqdorini o'zgartirish orqali amalga oshirildi.

Armaturaning beton bilan birgalikdagi ishini baholash uchun beton kubdan armatura sterjenini sug'urib olish usulidan foydalanildi. Sterjenning betondagi ankerlash uzunligi diametrga bog'liq bo'lib, $5d$ ni tashkil etdi. GOST 31938-2012 [19] talablariga muvofiq, armatura mahsulotlarining umumiy uzunligi betondagi ankerlash uzunligi, sinov mashinasi konstruksiyasi va sinov muftasi konstruksiyasining uzunligi bilan belgilanib, bunda sterjenlarning chiqib turgan qismlari ularni sinov mashinasi bilan qisib olishni va sug'urilish datchigini o'rnatishni ta'minlashi kerak. Tajribada qo'llanilgan armatura mahsulotlarining tavsifi va ularni beton namunalariga ankerlash parametrlari 1-jadvalda keltirilgan.

Ishda namunalarni tayyorlash uchun biz tomonimizdan avvalroq o'tkazilgan tadqiqotlarda [3] xossalar majmuasi bo'yicha optimallashtirilgan ko'pikbeton tarkiblaridan foydalanildi (2-jadval). Sterjenni beton bilan birlashtirish uzunligi diametrga bog'liq bo'lib, $5d$ ni tashkil etdi. GOST 31938-2012 [19] talablariga muvofiq, armatura buyumlarining umumiy uzunligi betonga mahkamlash uzunligi, sinov mashinasining tuzilishi va sinov muftasi konstruksiyasining uzunligi bilan shunday aniqlandiki, sterjenlarning chiqishi ularni sinov mashinasi bilan ushlab olish va tortish datchigini o'rnatish imkonini bersin.

Ishda namunalarni tayyorlash uchun biz ilgari o'tkazgan tadqiqotlarda [3] kompleks xususiyatlari bo'yicha optimallashtirilgan ko'pikbeton tarkiblaridan foydalanildi (2-jadval).

1-jadval

Foydalanilgan armatura mahsulotlarining tavsifi va ularning ko'pikbeton namunalariga o'rnatilish parametrlari

Armatura turi	Ishlab chiqaruvchi	Nominal diametri, d (mm)	Elastiklik moduli, MPa	Cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi, MPa	Oquvchanlik chegarasi, MPa	Hisobiy siqilish qarshiligi, MPa	Nisbiy uzayishi, %	Erkin sterjen uzunligi, mm	Ankerlash uzunligi, mm	Sterjen umumiy uzunligi, mm
Shisha-kompozit armatura (GFRP)	O'zbekiston qurilish materiallari bozori (import mahsulotlari)	6	50 000	800	Mavjud emas	300	2,2	300	30	600–800
		8	50 000	800	Mavjud emas	300	2,2	400	40	700–900
		10	50 000	800	Mavjud emas	300	2,2	500	50	800–1000
Bazalt-kompozit armatura (BFRP)	O'zbekiston qurilish materiallari bozori (import mahsulotlari)	6	50 000	800	Mavjud emas	300	2,2	300	30	600–800
		8	50 000	800	Mavjud emas	300	2,2	400	40	700–900
		10	50 000	800	Mavjud emas	300	2,2	500	50	800–1000
Po'lat armatura A500C	O'zbekiston metallurgiya korxonalari (masalan, Bekobod metallurgiya zavodi)	8	200 000	600 (vaqtinchalik qarshilik)	500	350	Kamida 14	300	40	750–850
		10	200 000	600 (vaqtinchalik qarshilik)	500	350	Kamida 14	600	50	900–1000

2-jadval

Penobeton tarkiblarining tavsifi

O'rtacha zichlik, kg/m ³	Sement : qum nisbati (S:Q)	Suv-sement nisbati (S/S)	Ko'pik hosil qiluvchi qo'shimcha miqdori, sement massasiga nisbatan, %	Superplastifikator miqdori, sement massasiga nisbatan, %
1400	1 : 1,75	0,30	0,04	0,4
1600	1 : 1,75	0,31	0,05	0,5

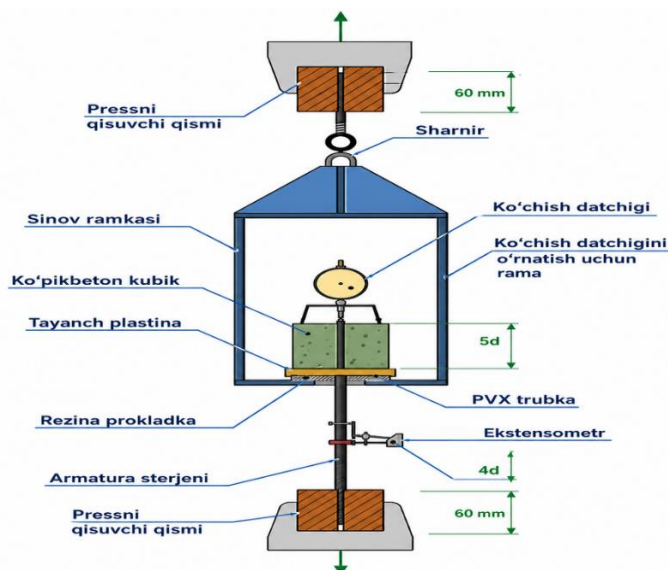
Har bir o'rtacha zichlikdagi penobeton uchun tajribalarda 1-jadvalda tavsiflangan barcha

turdagi armaturalar bilan tishlashuvi baholandi.

1. Tajribalarni o'tkazish sharoitlari tavsifi.

Tishlashuvni sinashda o'lchami $100 \times 100 \times 100$ mm bo'lgan kub-namunalar seriyasidan foydalanildi. Seriyadagi namunalar soni penobetonning o'rtacha zichligi, armatura turi va diametrining har bir kombinatsiyasi uchun 6 donani tashkil etdi. Namunalar tayyorlashda metall qoliplardan foydalanildi va ularning parallel qirralarida armatura uchun bittadan teshik ochildi. Teshiklar armatura sterjenini har bir kub-qolipning markazida, qirralarga perpendikulyar va beton yotqizish yo'nalishiga parallel ravishda gorizontal holatda mahkamlash uchun xizmat qildi.

Penobeton ikki bosqichli usulda tayyorlandi: birinchi bosqichda suv havo jalb qiluvchi va superplastifikator SFA qo'shimchalari bilan aralashtirildi, ikkinchi bosqichda esa to'ldiruvchi bilan birga bog'lovchi modda qo'shildi. Aralashtirish turbinali aralashtirgichda 1300 ayl/daqiqqa tezlikda 4 daqiqa davomida amalga oshirildi. Aralashma qolipga quyilgach, devorlarga qisilib qolgan havoni chiqarib yuborish uchun qisqa vaqt vibratsiya berildi.



1-rasm – Namunalarni sug'urib olish sinovlari sxemasi.

Tishlashuv parametrlarini sinash INSTRON 5982 universal pol elektromexanik sinov tizimida armatura sterjenini kub-namunadan sug'urib olish orqali amalga oshirildi. Namuna maxsus metall ramkaga joylashtirildi va uning bir cheti sinov uskunasi qisqichiga mahkamlandi. Ramkadagi namuna tayanch metall plitaga va plita bilan ramka orasidagi rezina qatlamga tayanirildi. Armaturaning betonda sirpanishini o'lchash uchun sterjenning bo'sh uchidagi beton namunasiga, maxsus ramka-tutqichga ko'rsatkichlari 0,01 mm aniqlikdagi siljish datchigi o'rnatildi. Armatura sterjeni cho'zilganda uning bo'ylama deformatsiyalarini o'lchash uchun

yuklangan sterjenning ishchi balandligi markaziga o'rnatilgan ekstensometrdan foydalanildi. Ramkaning o'lchami siljish datchigini sterjenning chiqib turgan uchiga o'rnatish uchun zarur masofani ta'minladi. Sug'urib olish sinovlari jarayonida indikator ko'rsatkichlari 0,05 mm, 0,1 mm va 0,25 mm ga yetganda berilayotgan yuklama qiymati hamda maksimal yuklamadagi sterjenning siljish qiymati qayd etib borildi. Sinovdan oldin namunalar ko'zdan kechirildi va o'lchab olindi. Armaturani o'q bo'ylab sug'urib olish bo'yicha namunalarni sinash sxemasi 1-rasmida keltirilgan.

Penobetonning mustahkamligi va zichligini nazorat qilish maqsadida har bir o'rtacha zichlik uchun $100 \times 100 \times 100$ mm o'lchamdagi armaturalanmagan kub namunalardan 24 donadan iborat nazorat seriyalari bir vaqtning o'zida tayyorlandi. Namunalar normal sharoitlarda 28 sutka davomida qotirildi. Mustahkamlik bo'yicha sinovlar INSTRON firmasining 1500HDX universal 4 ustunli polga o'rnatiladigan gidravlik sinov tizimi yordamida standart usulda amalga oshirildi. Sinov natijalariga asosan, mustahkamlik bo'yicha sinf va o'rtacha zichlik bo'yicha marka [20, 21] me'yoriy standart uslublarga muvofiq statistik jihatdan ishonchli aniqlandi.

Ilashish qiymatini hisoblash usuli

Armaturaning ko'pikbeton bilan tishlashish mustahkamligi armatura sterjenlarining betondan sug'urib olinishiga ko'rsatgan qarshiligi qiymati bo'yicha baholandi. Hisob-kitob, namuna qayerda – sterjen bo'ylab yoki sterjenning beton bilan tishlashish chegarasida buzilishidan qat'i nazar, namunani buzilgunga qadar cho'zishda hosil bo'lgan maksimal yuklamada yuzaga keladigan, armaturaning beton bilan tishlashish chegarasi bo'yicha siljituvchi kuchlanishlar qiymatlarini aniqlashga asoslangan.

Tishlashish mustahkamligi GOST 31938-2012 [19] ga muvofiq quyidagi formula bo'yicha aniqlandi:

$$\tau = \frac{P}{cL_p},$$

bu yerda P - qo'yiladigan yuklama, N;

c - sterjen aylanasi nominal uzunligi, mm;

L_{fb} - sterjenning betonga ko'milish uzunligi, mm.

Sinov natijalarini qayta ishlash har bir diametr uchun "ilashish kuchlanishi - sirpanish" diagrammalarini tuzishni o'z ichiga oldi. Har bir namuna uchun ilashish kuchlanishi sterjen sirpanish datchigining 0,05; 0,1; 0,25 mm, shuningdek, maksimal kuchlanishda sterjenning erkin uchi sirpanib ketishiga sabab bo'ladi. So'ngra namunalarning har bir seriyasi uchun ilashishning o'rtacha qiymati hisoblab chiqildi.

Tadqiqot natijalari

Sinovlarning kompleks natijalari tahlili (3-jadval, 2, 3, 4-rasmlar) quyidagilarni aniqlash imkonini berdi.

Sinov jarayonida ko'rib chiqilgan barcha turdagi va diametrli armaturalarning betonda sirpanishi qayd etildi. Barcha turdagi armatura sterjenlarini sug'urib olish "beton-armatura" tutashuv zonasida buzilish bilan kechdi, armaturaning uzilishi kuzatilmadi (qarang: 2-rasm).

Armatura turining ta'siri. Tutashuvning eng yuqori ko'rsatkichlari shishakompozit armaturada qayd etildi. Ushbu turdagi armaturaning tutashuv mustahkamligi chegarasi barcha ko'rib chiqilgan armatura diametrlari va beton sinflari uchun bazaltkompozit armaturaga nisbatan 1,3–1,8 baravar va po'lat armaturaga nisbatan 1,2–1,9 baravar yuqori. Shu bilan birga, B7,5 va B10 sinfidagi penobetonlar uchun, nominal diametrlari teng bo'lgan taqdirda, bazaltkompozit sterjenlarning siljish nazorat nuqtalaridagi sug'urib olish kuchi metall armatura bilan qiyoslanadigan darajada. Buzilish xarakterini "tutashuv kuchlanishi – sirpanish" diagrammalari bilan solishtirish bu holat armaturani beton tanasidan sug'urib olishdagi buzilish xakteri bilan bog'liqligini ko'rsatadi.

Taqdim etilgan "tutashuv kuchlanishi – sirpanish"ga oid xarakterli diagrammalardan ko'rinib turibdiki (qarang: 4-rasm), shishakompozit armaturani sug'urib olish ancha sezilarli sirpanish deformatsiyalari bilan kechadi va bu uni sug'urib olish uchun zarur bo'lgan kuchning ortishiga olib keladi. Shishaplastik armaturani sug'urib olishda chulg'amning sterjendan mahalliy ko'chishi kuzatildi (qarang: 2-rasm, a). Bu armaturaning ushbu turida chulg'amning beton bilan tutashuvi sterjen tanasi bilan tutashuviga qaraganda yuqoriroq ekanligini taxmin qilish imkonini beradi. Bazaltkompozit armaturani penobetonidan sug'urib olish aynan "beton-armatura" tutashuv zonasi bo'ylab (qarang: 2-rasm, b), chulg'amning uzilishsiz sodir bo'ldi, chunki armaturaning bu turida chulg'am bo'ylama tolaga qisman botirilgan. Metall armaturani sug'urib olish armatura sterjeni bilan tutashuv zonasi yaqinida betonning qisman buzilishi bilan kechdi (qarang: 2-rasm, v).

Armatura diametrining ta'siri. Armatura diametri o'zgartirilganda uning penobeton bilan tutashuv mustahkamligining o'zgarishi ko'rib chiqilgan armatura turlari uchun turli qonuniyatlarga ega (qarang: 3-jadval, 3-rasm).

B7.5 sinfidagi shishakompozit armaturada tutashuv mustahkamligi bo'yicha eng yaxshi natijaga 6 diametrli sterjenlarda erishildi, so'ngra ko'rsatkich 25% ga kamaydi va ko'ndalang kesim kattalashgani sari o'zgarishsiz qoldi. B7.5 sinfi doirasida bazaltkompozit armatura tutashuvning diametr o'zgarishiga aniq bog'liqligini ko'rsatmadi (qarang: 3a-rasm). B10 sinfi uchun esa kompozit armaturaning har ikki turida ham diametr ortishi bilan penobeton bilan tutashuvning pasayishi qayd etildi.

Metall armaturada esa, aksincha, diametri 8 mm dan 10 mm gacha o'zgartirilganda B7,5 sinfidagi beton uchun tutashuv mustahkamligining 20% ga ortishi kuzatiladi (qarang: 3b-rasm). B10 sinfi uchun tutashuv mustahkamligi ko'rsatkichlarining yomonlashish dinamikasi qayd etiladi.

Metall beton uchun, aksincha, uning diametri 8 dan 10 mm gacha o'zgarganda V7,5 sinfidagi beton uchun ilashish mustahkamligining 20% ga oshishi kuzatiladi (3b-rasmga qarang). B10 sinfi uchun ilashish mustahkamligi qiymatlarining yomonlashish dinamikasi qayd etiladi.

Beton mustahkamligining ta'siri. Siqilishga bo'lgan mustahkamligi bo'yicha beton sinfining ortishi bilan ko'rib chiqilayotgan armatura turlarining ko'pikbeton bilan tishlashish mustahkamligi

chegarasi qonuniy ravishda oshib boradi (qarang: 3-jadval). Beton sinfining ortishi bilan tishlashish mustahkamligi chegarasi armatura diametriga qarab turlicha darajada ortadi:

- shisha kompozitli armaturaning □ 6 mml sterjenlari uchun – 1,3 marta, □ 8 mmlilari uchun – 1,6 marta, □ 10 mmlilari uchun – 1,3 marta;

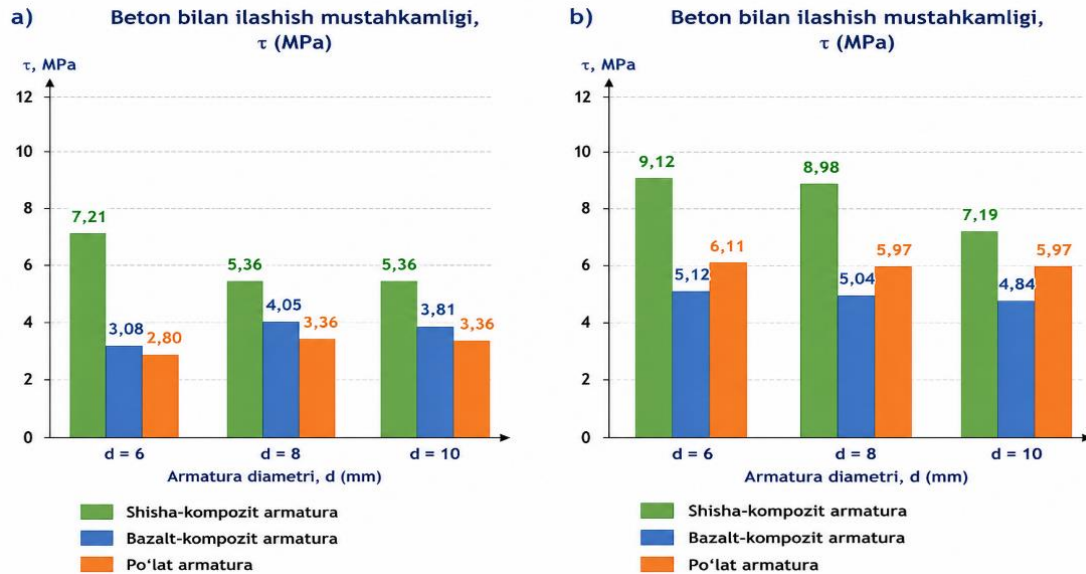
3-jadval

Tishlashish miqdorini aniqlash bo'yicha sinov natijalari ko'pikli betonli armatura sterjenlari

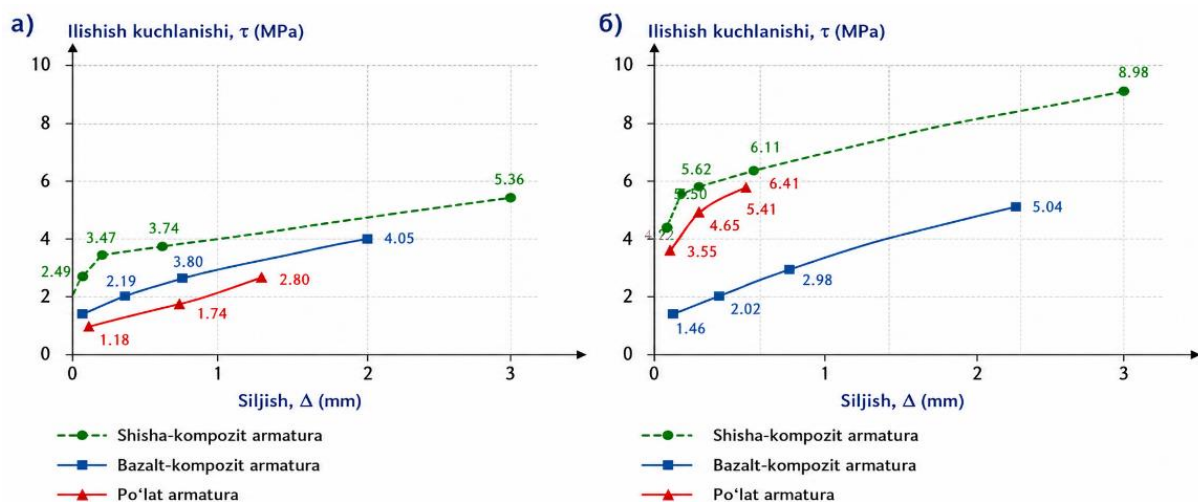
Mustahkamlik sinfi	Zichlik markasi	Armatura turi	Diametri, mm	Sug'urib olishdagi maksimal kuch, Pmax (kN)	Pmax dagi siljish, A (mm)	Beton bilan ilashish mustahkamligi, MPa
B 7,5	D1400	Shisha-kompozit armatura	6	4,01	3,28	7,21
			8	5,05	2,55	5,36
			10	8,63	1,63	5,36
		Bazalt-kompozit armatura	6	1,38	1,40	3,08
			8	3,94	1,55	4,05
			10	5,84	1,88	3,81
		Po'lat armatura (A500C)	8	2,90	0,85	2,80
			10	5,68	0,35	3,36
B 10	D1600	Shisha-kompozit armatura	6	5,08	2,80	9,12
			8	8,46	2,93	8,98
			10	11,57	1,38	7,19
		Bazalt-kompozit armatura	6	2,29	3,30	5,12
			8	4,91	2,20	5,04
			10	7,42	1,80	4,84
		Po'lat armatura (A500C)	8	6,34	0,48	6,11
			10	10,08	0,33	5,97



2-rasm - Armaturaning g'ovak beton bilan ilashishining buzilish xususiyati: a) shisha kompozit; b) bazalt kompozit; v) metal.



3-rasm - B 7,5 (a) va B 10 (b) sinfidagi ko'pikbetonli turli xil armaturalarning bog'lanish mustahkamligi.



4-rasm - Diametri 8 mm bo'lgan armaturaning V 7,5 (a) va V10 (b) sinfdagi ko'pikbetonlar bilan ilashishining sirpanishga bog'liqligi.

- 6 mm sterjenlar uchun bazalt kompozit armaturalar uchun - 1,7 baravar, 8 mm uchun - 1,3 baravar, 10 mm uchun - 1,1 baravar;
- metall armatura uchun - 1,8 va 2,2 baravar, 8 mm va 10 mm sterjenlar uchun esa mos ravishda.

Xulosa

Armaturaning ko'pikbeton bilan birgalikda eng yaxshi ishlashi shishakompozit armatura qo'llanilganda ta'minlanishi mumkinligi aniqlandi. Uning B7,5 (D1400), B10 (D1600) sinfidagi ko'pikbetonlar bilan ilashish mustahkamligi chegarasi, mustahkamlik sinflari va armatura diametrlarining ($\varnothing 6, 8, 10$ mm) barcha kombinatsiyaviy variantlarida bazaltkompozit va metall armaturalarning ilashish mustahkamligi ko'rsatkichlaridan 20-45% yuqoridir. Bu armaturani beton tanasidan sug'urib olishdagi buzilish xarakteri bilan izohlanadi. Shishaplastik armaturaning "beton-armatura" tutash zonasidagi ilashish mustahkamligi, armatura profilini hosil qiluvchi o'ramning sterjen tanasi bilan ilashish mustahkamligidan yuqoriroq bo'ladi. Bazaltplastik armatura ko'pikbeton bilan eng past ilashish mustahkamligiga ega bo'lib, uni sug'urib olishda buzilish aynan

“beton-armatura” tutash zonasida yuz beradi. Yuqori mustahkamlikka ega metall armaturani sugʻurib olishda esa betonning armatura sterjeni bilan tutash zonasi yaqinida qisman yemirilish kuzatiladi.

Betonning mustahkamlik sinfi ortishi bilan oʻrganilgan barcha turdagi armatura mahsulotlarining ilashish mustahkamligi chegarasi ham qonuniy ravishda ortib boradi. Biroq, armaturaning koʻpikbeton bilan ilashish mustahkamligining uning diametri oʻzgarishiga bogʻliqligi koʻrib chiqilgan armatura turlari uchun turlicha qonuniyatlarga ega. Kompozit armaturaning diametri ortishi bilan uning beton bilan ilashish mustahkamligi pasayish tendensiyasi kuzatilsa, metall armaturada buning aksi kuzatiladi.

Tadqiqotlarni rivojlantirish istiqbollari quyidagi vazifalarni hal etish bilan bogʻliq:

- turli xil armatura mahsulotlari bilan armaturalangan koʻpikbetonli konstruktiv elementlarning kompleks eksperimental-nazariy tadqiqotlari va sinovlarini oʻtkazish;
- eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida kam qavatli qurilish uchun koʻpikbetonli konstruksiyalarni hisoblash va loyihalash boʻyicha tavsiyalar ishlab chiqish.

Adabiyotlar

- [1]. Asqarov B.A., Xudayqulov B.M. Gʻovak betonlarning fizik-mexanik xossalarini takomillashtirish // Architecture, Construction and Design. – Toshkent, 2022. – №3. – B. 24–31.
- [2]. Mirzaev S.M., Ergashev A.X. Yengil betonlarning issiqlik texnik xususiyatlarini oshirish usullari // Architecture, Construction and Design. – Toshkent, 2021. – №4. – B. 36–42.
- [3]. Tojiev R.J., Yusupov A.A. Zamonaviy kompozit armaturalarning beton konstruksiyalarda qoʻllanilishi // Oʻzbekiston arxitekturasini va qurilishi. – Toshkent, 2023. – №2. – B. 18–26.
- [4]. Qodirov M.M., Abdullayev O.X. Yengil gʻovak betonlarning mustahkamlik va deformatsion xossalarini tadqiq etish // Architecture, Construction and Design. – Toshkent, 2022. – №1. – B. 44–51.
- [5]. Raximov Sh.R., Karimov A.A. Beton va armatura orasidagi ilashish mustahkamligini eksperimental tadqiq etish // Oʻzbekiston arxitekturasini va qurilishi. – Toshkent, 2023. – №4. – B. 27–35.

KOʻP KVARTIRALI UYLARNI KAPITAL TAʼMIRLASH VA HOVLI HUDUDLARINI OBODONLASHTIRISH ISHLARINI SINXRONLASHTIRISHDA TASHKILIY-TEKNOLOGIK YECHIMLARNI TANLASH

Gʻ.A. Ibraximov, Z.M. Abduvaliev

Toshkent arxitektura-qurilish universiteti, Toshkent, Oʻzbekiston

*Masʼul muallif, e-mail: gayratibraximov@gmail.com

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya. Maqolada koʻp kvartirali uylarni kapital taʼmirlash va ularga tutash hovli hududlarini obodonlashtirish ishlarini yagona tashkiliy-texnologik tizim sifatida rejalashtirish masalasi yoritildi. Toshkent shahri sharoitida taʼmirlash-qurilish jarayonlari koʻpincha zich qurilgan hududlarda, aholi yashashi davom etayotgan binolarda va cheklangan ish frontlarida bajarilishi sababli ishlar ketma-ketligi, resurslar taqsimoti hamda pudrat tashkilotlari harakatlarini vaqt boʻyicha muvofiqlashtirish alohida ahamiyat kasb etadi. Tadqiqotda hovli va uy atrofi hududi chegaralarini aniqlash, shahar muhiti tipologiyasini hisobga olish, ish frontlari, davomiylilik, intensivlik va ritmiklik koʻrsatkichlari asosida sinxronlashtirish variantlarini baholash yondashuvi taklif etildi. Natijada kapital taʼmirlash va obodonlashtirishni alohida emas, balki kompleks qurilish oqimi sifatida loyihalash amaliy samaradorlikni oshirishi asoslandi.

Kalit soʻzlar: koʻp kvartirali uy, kapital taʼmirlash, hovli hududi, obodonlashtirish, sinxronlashtirish, tashkiliy-texnologik yechim, ish fronti, oqim usuli, ritmiklik, shahar muhiti, resurs taqsimoti.

Аннотация. В статье освещается вопрос планирования работ по капитальному ремонту многоквартирных домов и благоустройству прилегающих к ним дворовых территорий как единой организационно-технологической системы. Поскольку в условиях города Ташкента ремонтно-строительные процессы зачастую выполняются в районах с плотной застройкой, в эксплуатируемых жильцами зданиях и на ограниченных фронтах работ, особое значение приобретают последовательность работ, распределение ресурсов и временная координация действий подрядных

организаций. В исследовании предложен подход к оценке вариантов синхронизации на основе таких показателей, как фронт работ, продолжительность, интенсивность и ритмичность, с учётом определения границ дворовой и придомовой территории, а также типологии городской среды. В результате обосновано, что проектирование капитального ремонта и благоустройства не как отдельных процессов, а в качестве комплексного строительного потока повышает практическую эффективность.

Ключевые слова: многоквартирный дом, капитальный ремонт, дворовая территория, благоустройство, синхронизация, организационно-технологическое решение, фронт работ, поточный метод, ритмичность, городская среда, распределение ресурсов.

Abstract. The article considers the planning of capital repair of apartment buildings and improvement of adjacent courtyard areas as a single organizational and technological system. In the conditions of Tashkent, repair and construction processes are often implemented in dense urban areas, in buildings that remain in use, and within limited work fronts; therefore, the sequencing of works, distribution of resources and coordination of contractors in time become especially important. The study proposes an approach for evaluating synchronization alternatives based on the definition of courtyard and adjacent territory boundaries, urban environment typology, work fronts, duration, intensity and rhythm indicators. The results substantiate that capital repair and landscaping should be designed not as isolated measures but as an integrated construction flow, which improves the practical efficiency of urban programs.

Keywords: apartment building, capital repair, courtyard area, improvement, synchronization, organizational and technological solution, work front, flow method, rhythm, urban environment, resource allocation.

KIRISH

Ko'p kvartirali uy-joy fondining sezilarli qismi uzoq muddatli ekspluatatsiya jarayonida konstruktiv elementlar, muhandislik tarmoqlari va tashqi hududlar bo'yicha eskirish belgilarini namoyon qiladi. Binoning o'zini kapital ta'mirlash bilan bir vaqtda hovli hududida piyoda yo'llari, yoritish, avtoturargoh, bolalar va dam olish maydonchalari, ko'kalamzorlashtirish va chiqindi yig'ish joylarini tartibga keltirish talab etiladi. Bu jarayonlar bir-biriga bevosita ta'sir qilgani uchun ularni alohida rejalashtirish resurslarning takroriy sarflanishi, ish frontlarining to'qnashuvi va muddatlarning cho'zilishiga olib kelishi mumkin.

Toshkent shahrining zich qurilgan hududlari uchun masala yanada murakkabdir. Kapital ta'mirlash ko'p hollarda aholi yashab turgan binolarda bajariladi, hovli hududi esa bir vaqtning o'zida aholining kundalik harakati, maxsus transport, qurilish texnikasi va materiallarni vaqtincha joylashtirish ehtiyojlariga xizmat qiladi. Shu sababli ishlar majmuasini sinxronlashtirish nafaqat texnologik, balki ijtimoiy va boshqaruv vazifasi sifatida ham qaraladi.

Maqolaning maqsadi — ko'p kvartirali uylarni kapital ta'mirlash va hovli hududlarini obodonlashtirish ishlarini sinxronlashtirishda tashkiliy-texnologik yechimlarni tanlash mezonlari, baholash ko'rsatkichlari va rejalashtirish algoritmini tizimlashtirishdan iborat.

ADABIYOTLAR VA MUAMMO TAHLILI

Qurilish ishlab chiqarishini oqim usulida tashkil etish, kalendar rejalashtirish, ish frontlarini taqsimlash va resurslarni boshqarish bo'yicha mavjud yondashuvlar yangi qurilish sharoitida yetarlicha rivojlangan. Biroq kapital ta'mirlash va hovli obodonlashtirish ishlari yangi qurilishdan bir qator xususiyatlari bilan farqlanadi: almashinmaydigan konstruktiv elementlar saqlanadi, ishlar ekspluatatsiyadagi binolarda bajariladi, loyihaoldi izlanishlar to'liq bo'lmasligi mumkin va texnik yechimlar obyekt sharoitiga kuchli bog'liq bo'ladi.

Mavjud tadqiqotlarda kalendar va tarmoqli rejalashtirish, ko'p mezonli baholash, variantli loyihalash hamda tashkiliy-texnologik ishonchlilik masalalari ko'rib chiqilgan. Lekin ko'p kvartirali uy kapital ta'miri bilan hovli hududini obodonlashtirishni bitta hududiy obyekt doirasida birlashtiruvchi moslashtirilgan metodikalar yetarli darajada tizimlashtirilmagan.

Tadqiqotda sinxronlashtirish deganda ta'mirlash-qurilish jarayonlarining uzluksiz va rejali bajarilishi, turli jarayonlarning ayrim operatsiyalari ma'lum ketma-ketlikda, doimiy vaqt siljishi bilan yoki bir vaqtda amalga oshirilishi tushuniladi. Bu yondashuv ishlarning ritmiklik prinsipi bilan uzviy bog'liq.

SINXRONLASHTIRISHNING TASHKILIY-TEXNOLOGIK ASOSLARI

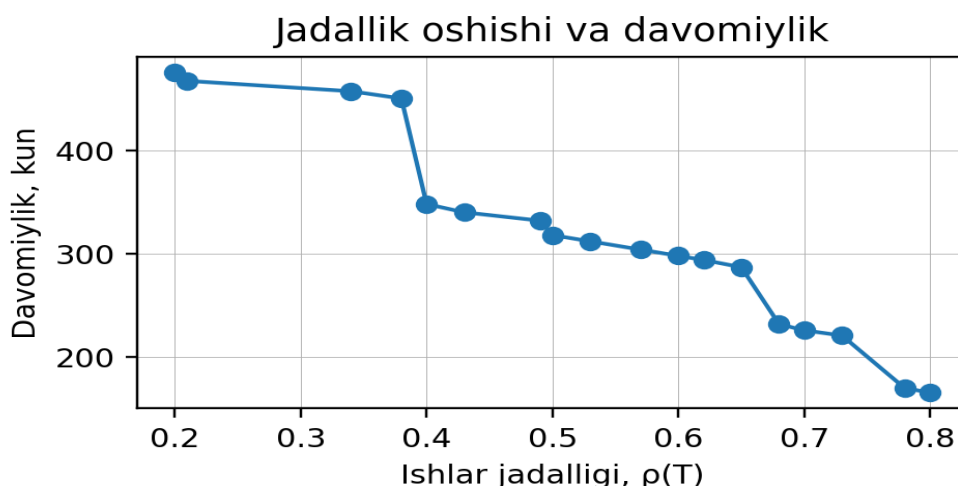
Sinxron rejalashtirishni boshlashda hududiy chegaralarni aniqlash birinchi bosqich hisoblanadi. Agar ko'p kvartirali uyga tutash uy atrofi hududi va hovli hududi chegaralari bir xil bo'lsa, ishlar bitta obyekt doirasida rejalashtiriladi. Agar hovli hududida bir nechta uy joylashgan bo'lsa, har bir uy bo'yicha ishlar va umumiy foydalanishdagi hudud ishlari o'rtasidagi bog'lanish alohida baholanadi. Amaliy loyihalashda huquqiy kolliziyalarni kamaytirish uchun $PT = DT$ holati asosiy variant sifatida qabul qilinadi.

$$PT = DT \quad (1)$$

$$PT_1 + PT_2 + \dots + PT_n = PT; \quad PT \neq DT \quad (2)$$

Bu yerda PT — uy atrofi hududi maydoni, DT — hovli hududi maydoni, n — hovli hududini shakllantiruvchi ko'p kvartirali uylar soni.

Tashkiliy-texnologik modelda ishlar asosiy, oldingi-ketma-ket, yordamchi va xizmat ko'rsatuvchi jarayonlarga ajratiladi. Kapital ta'mirlashda poydevor, yerto'la, fasad, tom, elektr, isitish, suv ta'minoti va kanalizatsiya tizimlari bo'yicha ishlar; obodonlashtirishda yo'laklar, kirish yo'llari, yoritish, maydonchalar, ko'kalamzorlashtirish va chiqindi yig'ish zonalari o'zaro bog'langan frontlar sifatida ko'rib chiqiladi.



1-rasm. Ishlar jadalligi oshishi bilan umumiy davomiylikning o'zgarishi.

Shahar muhitining turi sinxronlashtirish sxemasiga bevosita ta'sir qiladi. O'rta qavatli mikrorayonlarda ochiq maydonlar nisbatan katta bo'lsa-da, avtoturargoh va yong'in yo'laklarining tartibsiz band qilinishi ish frontlarini cheklaydi. Ko'p qavatli mikrorayonlarda esa aholi zichligi va kommunikatsiya tarmoqlarining ko'pligi ishlarning navbatini aniq belgilashni talab qiladi.

Jadval 1

Shahar muhiti turlari bo'yicha sinxron rejalashtirishning asosiy shartlari

Shahar muhiti	Asosiy cheklov	Rejalashtirish talabi
O'rta qavatli mikrorayon	Keng, lekin tartibsiz band qilingan hovli	Ish frontlarini zonalash va xavfsiz yo'laklarni ajratish
Ko'p qavatli mikrorayon	Aholi zichligi va transport bosimi yuqori	Resurs va texnika harakatini vaqt bo'yicha cheklash
Sovet perimetral	Yarim yopiq hovli, kirishlar ko'p	Piyoda oqimlarini ajratish va bosqichma-bosqich bajarish
Tarixiy aralash	Zich qurilish va aralash funksiyalar	Minimal ish fronti, qisqa siklli jarayonlar

BAHOLASH MEZONLARI VA HISOBIY KO'RSATKICHLAR

Tashkiliy-texnologik yechimlarni tanlash bir mezon bilan cheklanmaydi. Minimal muddatga erishish har doim ham eng maqbul variantni anglatmaydi, chunki resurslar talabi, xavfsizlik, aholi uchun noqulaylik, to'xtab qolish ehtimoli va moliyaviy yo'qotishlar ham hisobga olinishi kerak. Shu sababli baholash ko'p mezonli yondashuv asosida olib boriladi.

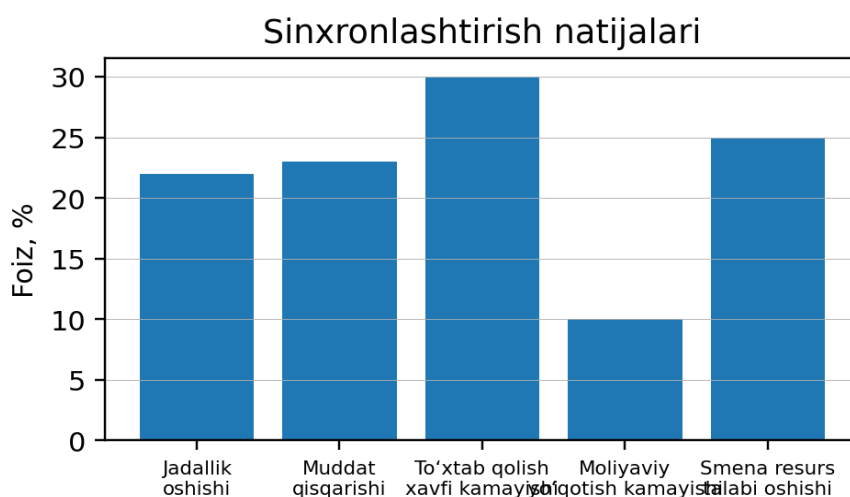
Ish fronti va intensivlik sinxronlashtirish modelining asosiy parametrlari hisoblanadi. Umumiy ish fronti R va ishlarni bajarish davomiyligi T ma'lum bo'lganda minimal zarur intensivlik quyidagicha ifodalanadi:

$$r_{min} = R / T \quad (3)$$

Agar ish frontlari soni yoki brigadalar soni oshirilsa, maksimal intensivlik ham ortadi, biroq bu yordamchi jarayonlar, texnika harakati va materiallarni yetkazib berish bo'yicha qo'shimcha muvofiqlashtirishni talab qiladi. Qarorlar integral baholash orqali solishtiriladi:

$$S = \sum w_i \cdot x_i \quad (4)$$

Bu yerda S — integral baholash bali, w_i — mezonning ahamiyatlilik koeffitsiyenti, x_i — normallashtirilgan ko'rsatkich. Ustuvor mezonlar sifatida davomiylik, ishlarning uzluksizligi, xavfsizlik, resurslardan foydalanish, aholi uchun qulaylik va moliyaviy yo'qotishlarni kamaytirish qabul qilinadi.



2-rasm. Sinxronlashtirishdan keyin kutiladigan asosiy natijalar.

Jadval 2

Sinxronlashtirish variantlarini baholashda qo'llaniladigan asosiy ko'rsatkichlar

Ko'rsatkich	Mazmuni	Baholash yo'nalishi
T	Ishlar davomiyligi	Kamayishi maqsadga muvofiq
r	Ishlar intensivligi	Me'yoriy resurs bilan oshiriladi
$P(\tau)$	To'xtab qolish ehtimoli	Xavfni kamaytirish
C_{pot}	Moliyaviy yo'qotish	Minimal qiymat
S	Integral baho	Eng yuqori reyting

NATIJALAR VA AMALIY TAVSIYALAR

Taklif etilgan yondashuv kapital ta'mirlash va obodonlashtirish ishlarini kompleks qurilish oqimi sifatida ko'rishga imkon beradi. Bunda har bir xususiy oqimning boshlanish va tugash vaqti, frontlar bo'yicha harakat sxemasi, brigadalar soni va moddiy-texnika ta'minoti yagona kalendar reja orqali bog'lanadi.

Amaliy qo'llashda birinchi navbatda obyekt pasporti, eskirish darajasi, avval bajarilgan kapital ta'mirlash ishlari, hovli hududining texnik holati, aholi harakati yo'nalishlari va mavjud

kommunikatsiya tarmoqlari aniqlanadi. Keyin ishlar tarkibi va ularning o'zaro bog'liqligi matritsa ko'rinishida beriladi.

Sinxronlashtirish bo'yicha eng maqbul qaror ijtimoiy noqulaylikni kamaytirish, xavfsizlikni ta'minlash, ishlar muddatini qisqartirish va resurslardan samarali foydalanish nuqtayi nazaridan tanlanadi. Shu bois tashkiliy-texnologik hujjatlarda ish frontlari chegarasi, har bir bosqich uchun mas'ul pudratchi, vaqtinchalik kirish yo'llari, materiallar saqlash joylari va xavfsizlik talablari aniq ko'rsatilishi lozim.

XULOSA

Ko'p kvartirali uylarni kapital ta'mirlash va hovli hududlarini obodonlashtirish ishlarini sinxronlashtirish Toshkent shahrining zich qurilgan hududlari uchun dolzarb tashkiliy-texnologik vazifa hisoblanadi.

Sinxronlashtirish modeli hududiy chegaralarni aniqlash, shahar muhiti tipologiyasini hisobga olish, ish turlarini asosiy va yordamchi jarayonlarga ajratish, ish frontlari hamda intensivlik ko'rsatkichlarini baholashga asoslanadi.

Taklif etilgan baholash yondashuvi kapital ta'mirlash va obodonlashtirish bo'yicha shahar dasturlarini qisqa muddatli rejaga bog'lash, resurslar harakatini muvofiqlashtirish va xavfsiz ish sharoitini ta'minlashda amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar

- [1]. O'zbekiston Respublikasining Shaharsozlik kodeksi. Rasmiy hujjat.
- [2]. O'zbekiston Respublikasining "Ko'p kvartirali uylarni boshqarish to'g'risida"gi Qonuni, O'RQ-581, 07.11.2019.
- [3]. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2022-yil 3-yanvardagi 3-son qarori.
- [4]. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-iyundagi PQ-5152-son qarori.
- [5]. ShNQ 3.01.01-22. Qurilish ishlab chiqarishini tashkil etish.
- [6]. Ibraximov G'.A. Ko'p kvartirali uylarni kapital ta'mirlash va tutash hududlarni obodonlashtirishda texnik hamda tashkiliy-texnologik yechimlarni tanlash va takomillashtirish. PhD dissertatsiya loyihasi. Toshkent, 2026.
- [7]. Gusakov A.A. Organizatsionno-texnologicheskaya nadezhnost stroitelstva. Moskva, 1994.
- [8]. Bolotin S.A. Metody kalendarnogo planirovaniya stroitelstva. Sankt-Peterburg, 2012.
- [9]. Zavadskas E.K., Kaplinski O. Multiple criteria decision making in construction management. Vilnius, 2008.
- [10]. Saati T.L. Prinyatie resheniy. Metod analiza iyerarkhiy. Moskva, 1993.

CURING MANAGEMENT AND QUALITY CONTROL OF NON-AUTOCLAVED FOAM CONCRETE PANELS IN HOT-DRY CONDITIONS

A.S. Ismaylova

Doctoral student at Urgench State University

E-mail: ismaylovaaysuliw676@gmail.com

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

(Received on September 3rd, 2026)

Abstract. This article presents a quality-control model for non-autoclaved foam concrete panels produced under hot-dry curing conditions. The study focuses on the influence of early moisture protection on evaporation loss, density variation, compressive strength, drying shrinkage and surface cracking. Five curing regimes were compared: open-air curing, film covering, moist chamber curing, curing compound and combined membrane protection. The results show that combined curing provides the most stable performance: evaporation loss decreases to 1.7%, 28-day compressive strength reaches 3.18 MPa, drying shrinkage decreases to 1.48 mm/m and the quality stability score increases to 88. The proposed control chart and acceptance checklist can be used by small and medium producers of foam concrete panels in arid urban regions.

Keywords: Foam Concrete, Curing Management, Moisture Protection, Quality Control, Drying Shrinkage, Lightweight Panels, Hot-Dry Climate.

Annotatsiya. Ushbu maqolada issiq-quruq qotirish sharoitida ishlab chiqarilgan avtoklavsiz ko'pikbeton panellarning sifat nazorati modeli keltirilgan. Tadqiqotda namlikdan erta himoyalashning bug'lanish yo'qotilishi, zichlik o'zgarishi, siqilishdagi mustahkamlik, quritishdagi kirishish va yuza

yoriqlariga ta'siriga e'tibor qaratilgan. Qotirishning beshta rejimi taqqoslandi: ochiq havoda qotirish, plyonka bilan qoplash, nam kamerada qotirish, qotirish birikmasi va kombinatsiyalangan membrana himoyasi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, kombinatsiyalangan qotirish eng barqaror ishlashni ta'minlaydi: bug'lanish yo'qotilishi 1,7% gacha kamayadi, 28 kunlik siqilishdagi mustahkamlik 3,18 MPa ga yetadi, quritishdagi kirishish 1,48 mm/m gacha kamayadi va sifat barqarorligi balli 88 gacha oshadi. Taklif etilayotgan nazorat jadvali va qabul qilish nazorat varaqasi qurg'oqchil shahar hududlarida ko'pikbeton panellarni ishlab chiqaruvchi kichik va o'rta korxonalar tomonidan qo'llanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: Ko'pikli beton, Qotishni boshqarish, Namlikdan himoya, Sifat nazorati, Quritishdagi kirishish, Yengil panellar, Issiq-quruq iqlim.

Аннотация. В данной статье представлена модель контроля качества неавтоклавных пенобетонных панелей, изготовленных в условиях горяче-сухого затвердевания. В исследовании основное внимание уделяется влиянию ранней влагозащиты на испарения, изменение плотности, прочность на сжатие, усадку при высыхании и трещиноватость поверхности. Были сопоставлены пять режимов высыхания: высыхание на открытом воздухе, пленочное покрытие, влажное камеральное высыхание, высыхающее соединение и комбинированная мембранная защита. Результаты показывают, что комбинированное закрепление обеспечивает наиболее стабильную производительность: потеря испарения снижается до 1,7%, 28-дневная прочность на сжатие достигает 3,18 МПа, усадка при сушке снижается до 1,48 мм/м, а показатель стабильности качества повышается до 88. Предлагаемая контрольная карта и контрольный список приемки могут быть использованы малыми и средними производителями пенобетонных панелей в засушливых городских регионах.

Ключевые слова: Пенобетон, Управление затвердеванием, Защита от влаги, Контроль качества, Усадка сушки, Легкие панели, Горяче-сухой климат.

1 INTRODUCTION

Non-autoclaved foam concrete is widely considered for lightweight wall panels, insulation boards and filling layers because it combines low density with simple production technology. Unlike autoclaved cellular concrete, it can be produced without high-pressure steam equipment, which is attractive for regional construction-material enterprises. However, the final quality of foam concrete strongly depends on early curing conditions.

In hot-dry climates, rapid evaporation from fresh panels can interrupt cement hydration, increase shrinkage and form surface microcracks. These defects are especially dangerous for cellular materials because cracks may connect artificial pores and increase moisture transport. Therefore, production quality should be evaluated not only through 28-day strength but also through early moisture loss, density deviation and shrinkage stability.

The purpose of this article is to propose a practical quality-control model for foam concrete panels cured under hot-dry conditions. The model is intended for technological screening and can support early decisions on moisture-protection methods in pilot production.

2 MATERIALS AND METHODS

The analyzed foam concrete matrix consisted of Portland cement, fine sand, limestone powder, water, a polycarboxylate superplasticizer and preformed protein foam. The target dry density of the panels was 700 kg/m³. The foam was introduced after slurry homogenization in order to reduce bubble destruction during mixing.

Five curing regimes were compared. Open-air curing was used as the least protected reference condition. Film covering limited direct evaporation from the panel surface. Moist chamber curing provided high relative humidity. Curing compound formed a membrane on the surface. Combined membrane curing included short film protection followed by curing compound application and shaded storage.

$$Q = 0.30D_s + 0.25R_n + 0.20E_s + 0.15S_s + 0.10C_s \quad (1)$$

where Q is the quality stability score, D_s is normalized density stability, R_n is normalized compressive strength, E_s is the normalized evaporation-stability indicator, S_s is the normalized

shrinkage-stability indicator and Cs is the normalized crack-resistance indicator. The score ranges from 0 to 100 and is used for comparative technological control.

Table 1. Curing regimes used for the comparative quality-control model.

Code	Curing regime	Main action	Risk control
OA	Open air	no protection	reference
FC	Film covering	surface sealing	evaporation
MC	Moist chamber	high humidity	hydration
CC	Curing compound	membrane layer	surface drying
CM	Combined curing	film + compound + shade	multiple risks

3 RESULTS AND DISCUSSION

The results demonstrate that curing conditions have a strong influence on the stability of foam concrete panels. Open-air curing gives the highest evaporation loss and the largest shrinkage. Film covering reduces water loss, but it does not fully protect panels during later storage if film removal is too early. Moist chamber curing improves hydration and strength, while curing compound is useful when chamber curing is not available.

Table 2. Quality indicators of foam concrete panels under different curing regimes.

Code	Evap. %	Density dev. %	R28 MPa	Shrink.	Crack
OA	6.8	5.9	2.35	2.64	0.46
FC	3.9	4.1	2.78	2.08	0.31
MC	2.2	3.2	3.05	1.72	0.22
CC	2.8	3.6	2.91	1.86	0.25
CM	1.7	2.4	3.18	1.48	0.14

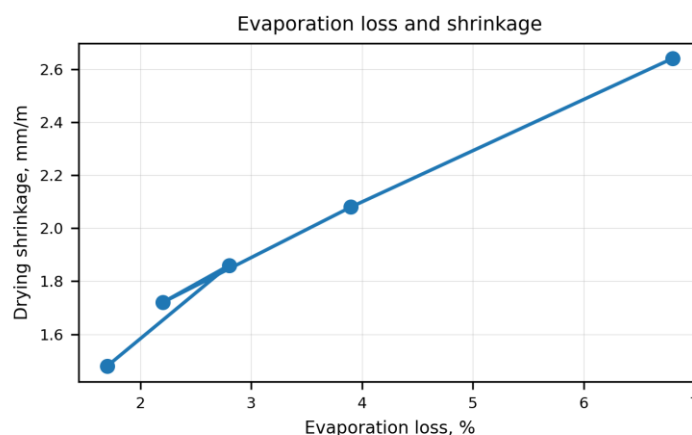


Figure 1. Relationship between early evaporation loss and drying shrinkage of foam concrete panels.

Figure 1 shows that drying shrinkage decreases as evaporation loss is reduced. This confirms that early moisture protection is a structural factor rather than a purely technological convenience. When hydration continues under protected conditions, the inter-pore partitions become denser and less sensitive to shrinkage cracking.

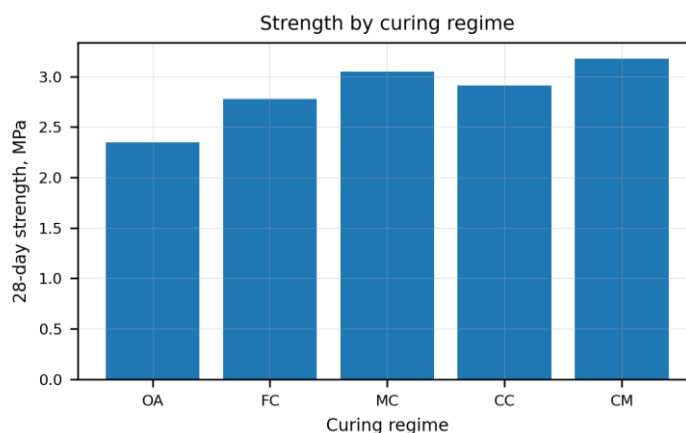


Figure 2. Effect of curing regime on 28-day compressive strength.

The highest 28-day strength was obtained under combined curing. Moist chamber curing also performed well, but combined curing is more realistic for small enterprises because it does not require continuous chamber storage. Open-air curing reduced strength due to incomplete hydration and surface microcracking.

Table 3.

Recommended production control limits for foam concrete panels.

Indicator	Recommended limit	Control frequency
Fresh density deviation	$\leq 3.0\%$	each batch
Foam half-life	≥ 55 min	daily
Evaporation loss 24 h	$\leq 2.5\%$	trial panels
Shrinkage 28 d	≤ 1.8 mm/m	mix approval
Visible cracking	very low/low	each production day

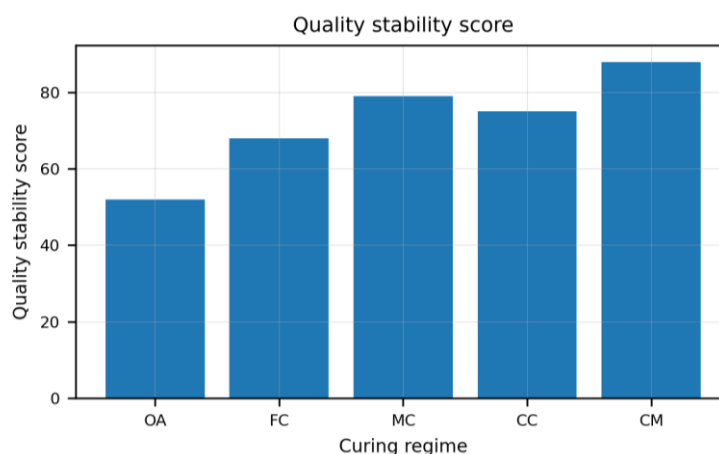


Figure 3. Quality stability score by curing regime.

The quality stability score indicates that combined curing provides the best balance between strength, density uniformity and shrinkage control. This does not mean that every enterprise must use the same curing sequence; rather, it shows that moisture protection should be continuous during the period when the material is most sensitive to evaporation.

4 TECHNOLOGICAL RECOMMENDATIONS

For hot-dry production conditions, foam concrete panels should not be left in open air immediately after casting. A minimum protection period of 24 hours is recommended, followed by shaded storage and controlled moisture retention. The surface temperature of forms should be reduced by shading before casting.

Batch control should include fresh density, visual pore stability and foam half-life. If fresh density deviation exceeds 3%, the batch should be corrected before casting panels. The curing method should be selected together with the mix design because mixtures with high foam volume are more sensitive to evaporation and handling damage.

For small production lines, the most practical solution is a combined method: film covering during the first day, curing compound after demolding and storage under shade. This sequence reduces water loss without requiring expensive equipment and improves dimensional stability of panels.

5 CONCLUSIONS

A quality-control model for non-autoclaved foam concrete panels produced in hot-dry conditions was proposed. The model combines density stability, strength, evaporation loss, drying shrinkage and surface cracking into a single comparative score.

The best result was achieved by combined curing, which reduced evaporation loss to 1.7%, increased 28-day compressive strength to 3.18 MPa, decreased drying shrinkage to 1.48 mm/m and increased the quality stability score to 88.

The proposed acceptance limits can be used for pilot production of lightweight foam concrete panels. Further laboratory verification should include thermal conductivity, long-term shrinkage and cyclic wetting-drying resistance.

References

- [1]. [1] K. Ramamurthy, E.K.K. Nambiar and G.I.S. Ranjani, "A classification of studies on properties of foam concrete", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 31, No. 6, pp. 388-396, 2009.
- [2]. [2] O. Gencel, T. Bilir, Z. Bademler and T. Ozbakkaloglu, "A detailed review on foam concrete composites: Ingredients, properties, and microstructure", *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 11, Article 5752, 2022.
- [3]. [3] E.K.K. Nambiar and K. Ramamurthy, "Air-void characterization of foam concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, No. 2, pp. 221-230, 2007.
- [4]. [4] ASTM C796/C796M-19, Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam, ASTM International, 2019.
- [5]. [5] ASTM C 869/C869M-24, Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete, ASTM International, 2024.
- [6]. [6] ASTM C157/C157M, Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete, ASTM International.
- [7]. [7] M.R. Jones and A. McCarthy, "Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 57, No. 1, pp. 21-31, 2005.
- [8]. [8] A.M. Neville, *Properties of Concrete*, 5th ed., Pearson Education, London, 2011.

TOSHKENT SHAHRI MIROBOD TUMANIDA KO'P KVARTIRALI UYLARNI KAPITAL TA'MIRLASH VA HOVLI HUDUDLARINI OBODONLASHTIRISH ISHLARINI SINXRON REJALASHTIRISH SAMARADORLIGI

G'.A. Ibraximov*, Z.M. Abduvaliev

Toshkent arxitektura-qurilish universiteti, Toshkent, O'zbekiston

**Mas'ul muallif, e-mail: gayratibraximov@gmail.com*

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya. Maqolada Toshkent shahri Mirobod tumani misolida ko'p kvartirali uylarni kapital ta'mirlash va hovli hududlarini obodonlashtirish ishlarini sinxron rejalashtirish samaradorligi tahlil qilindi. Amaliy obyektlar sifatida Shota Rustaveli ko'chasi 75-uy va 122-uy, Oybek ko'chasi 12-uy va 45A-uy hamda Afrosiyob ko'chasi 31-uy tanlandi. Tadqiqotda obyektlarning qurilish yili, qavatlar soni, umumiy maydoni, eskirish darajasi va rejalashtirilgan kapital ta'mirlash hamda obodonlashtirish yillari solishtirildi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, kapital ta'mirlash va hovli obodonlashtirishni yagona kalendar reja asosida bog'lash ishlar jadalligini oshirish, umumiy muddatni qisqartirish, to'xtab qolish xavfini kamaytirish va moliyaviy yo'qotishlarni cheklash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: Mirobod tumani, ko'p kvartirali uy, kapital ta'mirlash, hovli hududi, obodonlashtirish, kalendar reja, qisqa muddatli reja, sinxronlashtirish, ishlar jadalligi, resurs talabi, to'xtab qolish xavfi.

Аннотация. В статье на примере Мирабадского района города Ташкента анализируется эффективность синхронизированного планирования работ по капитальному ремонту многоквартирных домов и благоустройству прилегающих дворовых территорий. В качестве практических объектов были выбраны дом No75 и дом No122 по улице Шота Руставели, дом No12 и дом No45A по улице Айбека, а также дом No31 по улице Афрасиаб. В исследовании сравнивались год постройки объектов, количество этажей, общая площадь, степень износа, а также запланированные годы проведения капитального ремонта и благоустройства. Результаты показывают, что увязка капитального ремонта и благоустройства двора на основе единого календарного плана позволяет повысить интенсивность работ, сократить общие сроки, снизить риск простоев и ограничить финансовые потери.

Ключевые слова: Мирабадский район, многоквартирный дом, капитальный ремонт, дворовая территория, благоустройство, календарный план, краткосрочный план, синхронизация, интенсивность работ, потребность в ресурсах, риск простоя.

Abstract. The article analyzes the practical effectiveness of synchronized planning of capital repair of apartment buildings and improvement of courtyard areas using Mirobod district of Tashkent as a case study. The selected objects are apartment buildings located at Shota Rustaveli Street 75 and 122, Oybek Street 12 and 45A, and Afrosiyob Street 31. The study compares construction year, number of floors, total area, deterioration level, and planned years for capital repair and courtyard improvement. The results show that combining capital repair and courtyard improvement into a single calendar plan increases work intensity, reduces total duration, lowers the probability of downtime and limits financial losses.

Keywords: Mirobod district, apartment building, capital repair, courtyard area, improvement, calendar plan, short-term plan, synchronization, work intensity, resource demand, downtime risk.

KIRISH

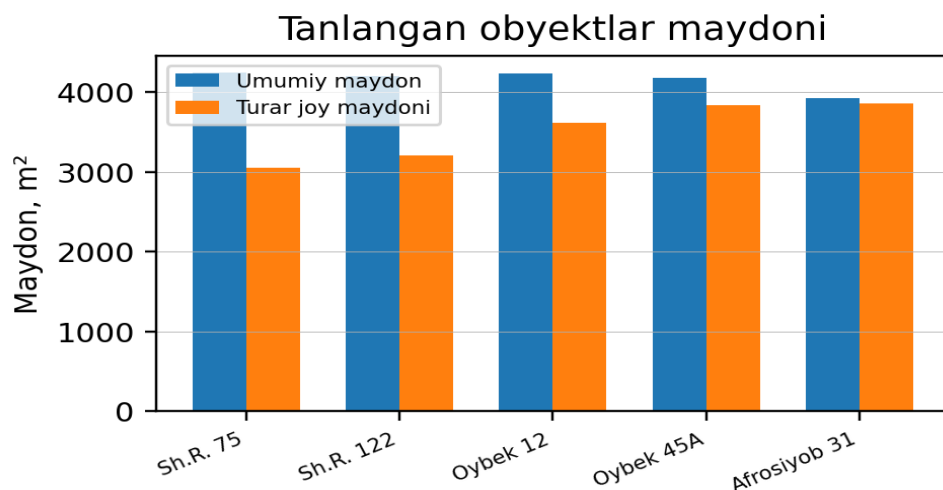
Shahar hududlarida kapital ta'mirlash va obodonlashtirish ishlarini amalga oshirishda asosiy muammo ishlarning ko'p obyektli, turli texnologik tarkibli va ijtimoiy jihatdan sezgir bo'lishidir. Bir hududda fasad, tom, poydevor, muhandislik tizimlari va hovli qoplamalari bo'yicha ishlarning turli vaqtda bajarilishi aholi harakati, transport oqimi va resurs ta'minotida uzilishlar keltirib chiqaradi.

Mirobod tumani Toshkent shahrining zich urbanizatsiyalashgan hududlaridan biri bo'lib, unda turli yillarda qurilgan, ekspluatatsiya muddati 45 yildan oshgan ko'p kvartirali uylar mavjud. Mazkur hududda kapital ta'mirlash va hovli hududlarini obodonlashtirish ishlarini yagona reja asosida tashkil etish shahar dasturlari samaradorligini oshirish uchun muhimdir.

Mazkur maqolaning maqsadi — tanlangan obyektlar bo'yicha kapital ta'mirlash va hovli hududini obodonlashtirish ishlarini sinxron rejalashtirish natijalarini tahlil qilish hamda amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

TADQIQOT OBYEKTлари VA BOSHLANG'ICH MA'LUMOTLAR

Amaliy tahlil uchun Mirobod tumanida joylashgan beshta ko'p kvartirali uy tanlandi. Obyektlar turli qurilish yillariga, o'xshash qavatlar soniga va yaqin umumiy maydon ko'rsatkichlariga ega. Ularning joylashuvi bir hududiy klaster sifatida qaralib, kapital ta'mirlash hamda obodonlashtirish ishlarini bitta boshqaruv obyekti doirasida rejalashtirish imkonini beradi.

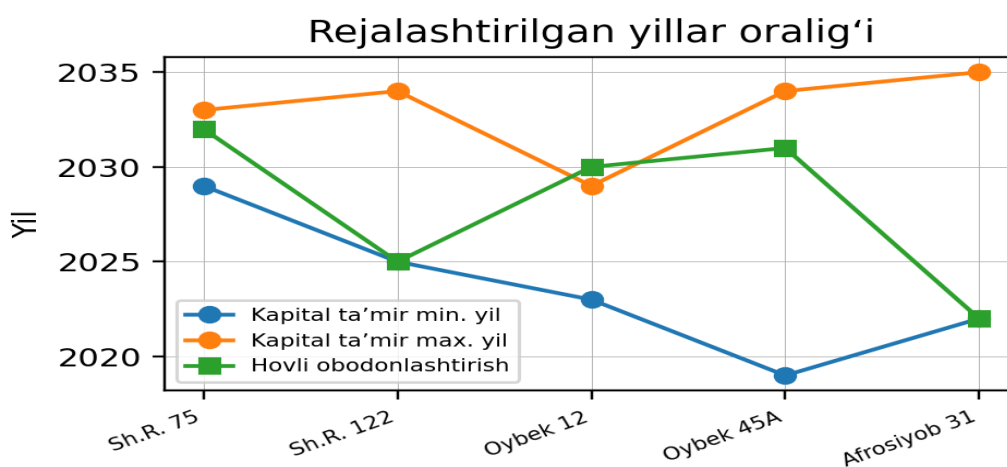


1-rasm. Tanlangan obyektlarning umumiy va turar joy maydonlari.

Jadval 1***Toshkent shahri Mirobod tumanida tanlangan obyektlarning asosiy ko'rsatkichlari***

Manzil	Yil	Qavat	Eskirish	Umumiy maydon
Sh.Rustaveli 75	1975	6	0,58	4241,6
Sh.Rustaveli 122	1977	6	0,30	4194,2
Oybek 12	1978	5	0,70	4232,5
Oybek 45A	1972	6	0,70	4178,1
Afrosiyob 31	1975	6	0,70	3916,9

Tanlangan obyektlarda umumiy muammo fasad, poydevor, yerto'la, tom va muhandislik tizimlari bo'yicha ta'mirlash ehtiyojining hovli hududi funksional zonalari bilan fazoviy jihatdan kesishishidir. Ayniqsa piyoda yo'laklari, yong'in o'tish yo'llari, chiqindi yig'ish maydonchalari va vaqtinchalik materiallar saqlash joylari o'zaro moslashtirilmasa, ishlar ketma-ketligi buzilishi mumkin.



2-rasm. Kapital ta'mirlash va obodonlashtirish yillarining taqqoslanishi.

SINXRON REJALASHTIRISH ALGORITMI

Sinxron rejalashtirish algoritmi bir nechta ketma-ket bosqichdan iborat. Birinchi bosqichda obyektlarning texnik holati, rejalashtirilgan ta'mirlash yillari va hovli hududining mavjud holati aniqlanadi. Ikkinchi bosqichda ishlar kapital ta'mirlash va obodonlashtirish bloklariga ajratiladi hamda ularning o'zaro bog'liqligi belgilanadi.

Uchinchi bosqichda ishlar o'zaro bog'liqligi aniqlanadi. Masalan, poydevor yoki yerto'la bilan bog'liq ishlar hovli qoplamalarini yangilashdan oldin bajarilishi kerak; aks holda yangi qoplama qayta ochilishi va qo'shimcha xarajat yuzaga kelishi mumkin. Fasad ishlari esa piyoda harakati xavfsizligini ta'minlash uchun vaqtinchalik yo'laklar bilan bog'lanadi.

To'rtinchi bosqichda kalendar reja variantlari shakllantiriladi: ketma-ket bajarish, qisman qo'shma bajarish va to'liqroq sinxronlashtirilgan bajarish. Har bir variant bo'yicha davomiylik, ishlar jadalligi, resurs talabi va to'xtab qolish xavfi solishtiriladi.

$$K_{sam} = (T_0 - T_s) / T_0 \cdot 100\% \quad (1)$$

Bu yerda K_{sam} — muddat qisqarishi bo'yicha samaradorlik, T_0 — sinxronlashtirishdan oldingi davomiylik, T_s — sinxronlashtirishdan keyingi davomiylik.

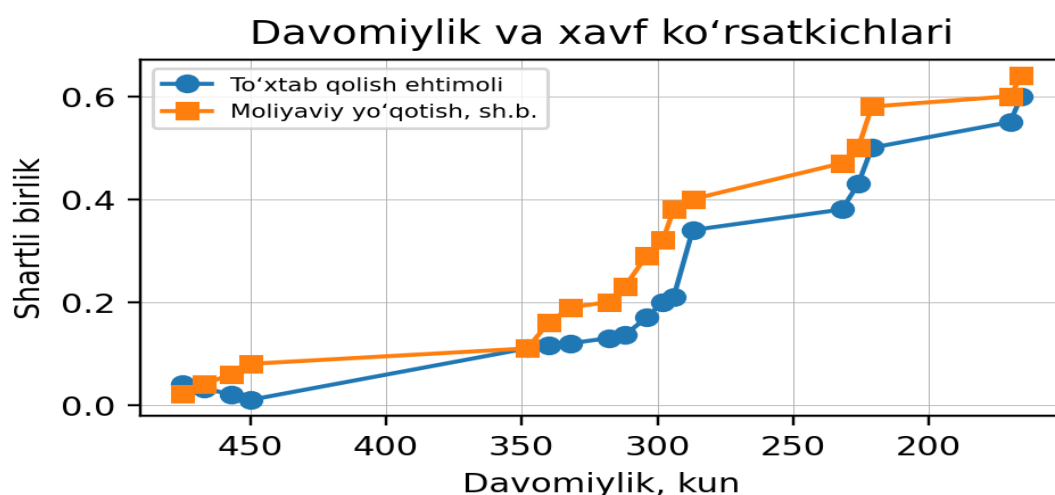
$$I = R / T; \quad \Delta I = (I_s - I_0) / I_0 \cdot 100\% \quad (2)$$

Bu yerda I — ishlar intensivligi, R — umumiy ish fronti, T — davomiylik. Intensivlikning oshishi muddatni qisqartiradi, biroq smena bo'yicha resurs talabining ortishini ham keltirib chiqaradi.

NATIJALAR TAHLILI

Mirobod tumani obyektlari bo'yicha sinxron rejalashtirish natijalarini baholashda dastlabki va taklif etilgan kalendar reja variantlari taqqoslandi. Hisobiy tahlilda ayrim ish frontlari bo'yicha davomiyliklar 287 va 166 kun qiymatlarida baholangan bo'lib, $T_0/T_s = 287/166$ nisbati qisqa muddatli reja uchun muhim zaxira mavjudligini ko'rsatadi.

Sinxronlashtirishdan keyin ishlarning jadalligi 22 foizga oshishi, umumiy muddat 23 foizga qisqarishi, to'xtab qolish xavfi 30 foizga kamayishi va moliyaviy yo'qotishlar 10 foizga pasayishi kuzatiladi. Shu bilan birga, smena resurs talabi 25 foizga, umumiy moliyaviy resurs hajmi esa 8 foizga oshishi mumkin. Demak, sinxronlashtirish faqat muddatni qisqartirish vositasi emas, balki resurs ta'minotini oldindan aniq rejalashtirishni talab qiluvchi boshqaruv mexanizmidir.



3-rasm. Davomiylik, to'xtab qolish ehtimoli va moliyaviy yo'qotishlar bog'liqligi.

Jadval 2

**Sinxronlashtirishdan oldin va keyin kutiladigan asosiy tashkiliy-iqtisodiy
ko'rsatkichlar**

Ko'rsatkich	Natija	Izoh
Ishlar jadalligi	+22%	Jarayonlar zichroq rejalashtiriladi
Umumiy muddat	-23%	Kalendar reja qisqaradi
To'xtab qolish xavfi	-30%	Frontlar to'qnashuvi kamayadi
Moliyaviy yo'qotishlar	-10%	Qayta ishlar va bekor turish kamayadi
Smena resurs talabi	+25%	Brigada va texnika zaxirasi talab etiladi
Umumiy moliyaviy resurs	+8%	Qisqa muddatli rejani ta'minlash narxi

Jadvaldan ko'rinadiki, sinxronlashtirish ishlarning umumiy samaradorligini oshiradi, biroq resurslar bir smenada ko'proq jamlanishini talab qiladi. Shu sababli maqbul variantni tanlashda faqat eng qisqa muddat emas, balki moliyaviy imkoniyatlar, pudrat tashkilotlarining quvvati va aholi uchun xavfsiz harakat yo'laklari ham hisobga olinishi zarur.

AMALIY TAVSIYALAR

Mirobod tumani sharoitida sinxronlashtirilgan qisqa muddatli rejani ishlab chiqishda obyektlar majmuasi yagona hududiy klaster sifatida ko'rilishi lozim. Bu yondashuv materiallar yetkazib berish, qurilish texnikasining kirib-chiqishi, vaqtinchalik ombor joylari va aholi harakat yo'laklarini birgalikda rejalashtirish imkonini beradi.

Ishlarni boshlashdan oldin aholi bilan axborot almashinuvi yo'lga qo'yilishi kerak: vaqtincha yopiladigan yo'laklar, xavfsiz kirish yo'nalishlari, shovqinli jarayonlar va ishlarning kutilayotgan davomiyligi oldindan e'lon qilinishi zarur.

Pudrat tashkilotlari uchun kalendar reja nafaqat muddat jadvali, balki resurslar va mas'uliyat xaritasi bo'lishi kerak. Har bir ish fronti bo'yicha brigada tarkibi, texnika turi, material yetkazib berish muddati va xavfsizlik choralari alohida ko'rsatiladi.

Moliyaviy rejalashtirishda sinxronlashtirishdan keyingi smena resurs talabining 25 foizga oshishi inobatga olinishi zarur. Aks holda qisqa muddatli reja qog'ozda samarali bo'lsa-da, amaliyotda resurs yetishmovchiligi sababli uzilishlarga duch keladi.

XULOSA

Toshkent shahri Mirobod tumanidagi beshta ko'p kvartirali uy misolida kapital ta'mirlash va hovli hududlarini obodonlashtirish ishlarini sinxron rejalashtirish amaliy jihatdan samarali ekani ko'rsatildi.

Sinxronlashtirilgan yondashuv ishlar jadalligini oshirish, umumiy muddatni qisqartirish, to'xtab qolish xavfi va moliyaviy yo'qotishlarni kamaytirish imkonini beradi. Biroq bu yondashuv smena resurs talabi va moliyaviy ta'minotni oldindan puxta rejalashtirishni talab qiladi.

Mirobod tumani bo'yicha olingan natijalar Toshkent shahrining boshqa zich qurilgan hududlarida ham kapital ta'mirlash va obodonlashtirish bo'yicha qisqa muddatli rejalarni shakllantirishda qo'llanishi mumkin.

Adabiyotlar

- [1]. O'zbekiston Respublikasining Shaharsozlik kodeksi. Rasmiy hujjat.
- [2]. O'zbekiston Respublikasining "Ko'p kvartirali uylarni boshqarish to'g'risida"gi Qonuni, O'RQ-581, 07.11.2019.
- [3]. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-iyundagi PQ-5152-son qarori.
- [4]. ShNQ 3.01.01-22. Qurilish ishlab chiqarishini tashkil etish.
- [5]. Toshkent shahrining 2045-yilgacha mo'ljallangan bosh rejasi materiallari.
- [6]. Ibraximov G'.A. Ko'p kvartirali uylarni kapital ta'mirlash va tutash hududlarni obodonlashtirishda texnik hamda tashkiliy-texnologik yechimlarni tanlash va takomillashtirish. PhD dissertatsiya loyihasi. Toshkent, 2026.
- [7]. Dikman L.G. Organizatsiya stroitelstva. Moskva, 2009.

- [8]. Bolotin S.A. Kalendarnoye planirovaniye stroitelstva. Sankt-Peterburg, 2012.
[9]. Gusakov A.A. Sistemotekhnika stroitelstva. Moskva, 2004.
[10]. Saati T.L. Prinyatie resheniy. Metod analiza iyerarkhiy. Moskva, 1993.

QORAQALPOG'ISTON MINTAQASI LANDSHAFTI, IQLIM VA EKOLOGIK OMILLARI

G. Shnekeyeva, J. Shnekeev, S. Zaripbaeva

Qoraqalpog davlat universiteti, Qoraqalpog'iston, O'zbekiston

**Mas'ul muallif, e-mail: gshnekeyeva@gmail.com*

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya: Ushbu maqolada Qoraqalpog'iston mintaqasining landshaft xususiyatlari, iqlim sharoiti va ekologik omillarining o'zaro bog'liqligi tahlil qilingan. Orol dengizi qurishi natijasida yuzaga kelgan ekologik muammolarning aholi turmushi, arxitektura va shaharsozlikka ta'siri yoritilgan. Mintaqadagi chang-to'zonli shamollar, tuproq sho'rlanishi va yer osti suvlari holatining qurilish obyektlariga salbiy ta'siri asoslab berilgan. Shuningdek, ko'kalamzorlashtirish, saksovulzorlarni kengaytirish va kichik arxitektura yechimlar orqali ekologik barqarorlikni ta'minlash imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Tadqiqot natijalari Qoraqalpog'iston hududida iqlim o'zgarishlariga moslashgan shaharsozlik va landshaftni tashkil etish bo'yicha amaliy tavsiyalarni ishlab chiqishga xizmat qiladi. Mazkur yondashuvlar mintaqaning ekologik holatini yaxshilash va aholi uchun qulay yashash muhitini shakllantirishda muhim ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: cho'l va yarim cho'l, Yozi issiq va quruq, namlik, daraxt, Ustyurt, landshaft, Ekologik, yashash muhiti, Orol dengizi, shaharsozlik.

Аннотация: В данной статье анализируется взаимосвязь ландшафтных особенностей, климатических условий и экологических факторов региона Каракалпакстан. Освещается влияние экологических проблем, возникших в результате высыхания Аральского моря, на быт населения, архитектуру и градостроительство. Обосновывается негативное воздействие пыльно-песчаных бурь, засоления почв и состояния подземных вод в регионе на объекты строительства. Также рассматриваются возможности обеспечения экологической устойчивости посредством озеленения, расширения саксаульников и малых архитектурных форм. Результаты исследования служат основой для разработки практических рекомендаций по организации градостроительства и ландшафта, адаптированных к изменениям климата на территории Каракалпакстана. Данные подходы имеют важное значение для улучшения экологической обстановки в регионе и формирования комфортной среды проживания для населения.

Ключевые слова: пустыня и полупустыня, жаркое и сухое лето, влажность, Уstyurt, ландшафт, экологическая проблема, среда обитания, Аральское море, градостроительство.

Abstract: This article analyzes the interconnection between the landscape features, climatic conditions, and environmental factors of the Karakalpakstan region. The impact of environmental problems arising from the drying up of the Aral Sea on public life, architecture, and urban planning is highlighted. The negative impact of dust and sand storms, soil salinity, and groundwater conditions in the region on construction sites is substantiated. Opportunities for ensuring environmental sustainability through greening, expanding saxaul plantations, and small architectural forms are also being considered. The research results serve as a basis for developing practical recommendations for organizing urban planning and landscaping adapted to climate change in the territory of Karakalpakstan. These approaches are of great importance for improving the environmental situation in the region and forming a comfortable living environment for the population.

Keywords: desert and semi-desert, hot and dry summer, humidity, Ustyurt, landscape, environmental problem, habitat, Aral Sea, urban planning

KIRISH

Qoraqalpog'iston Respublikasi iqlim sharoiti jihatidan cho'l va yarim cho'l hududiga kiradi. Yarim cho'l va cho'llarda landshaftda texnogen yuklarni cheklash va tartibga solish kerak[1]. Yozi issiq va quruq, qishi esa qahraton sovuq bo'ladi. Ob-havoning aniq ko'rsatkichlariga murojat qiladigan bo'lsak, eng yuqori issiq daraja +48⁰, eng yuqori sovuq harorat dekabr- yanvar oylarida -

25⁰, -30⁰ ga to'g'ri keladi. Kuchli shamol shimoliy-sharq tomondan esadi. Bahor va yoz oylarida changli to'zon, quruq shamollar(garmsel) tez-tez esib turadi. Shamolning tezligi o'rtacha 10 m sek. Shamolning tez esish vaqti asosan kundizgi vaqtlarga to'g'ri keladi. Asosan qish va bahor mavsumida kuchli shamollar Qizilqum sahrolaridan qum changini uchirib keladi, yog'ingarchilik kam bo'ladi. Namlik faqat daraxt va o't-o'lonlar hisobidan ancha vaqtgacha saqlanadi. Shuning uchun namlik yomg'ir hisobidan 25-30 kun saqlanadi, mintaqaning janubiy qismida esa atigi 10-12 kunga to'g'ri keladi. Bulutli kunlar juda kam bo'ladi[2]

Ta'kidlash lozimki issiq, quruq shamol va qum uyumlari Amudaryo bo'ylarida qadimdon bo'ron, suv toshqini bo'lib turganligi haqida Beruniy guvohlik beradi. "Haziran oyining yigirma to'rt kuni, hech narsa eslanmaydi. Aytishlaricha shu kuni (samum) issiq, quruq shamol va qor uyumlari ko'tarilishi boshlanadi va ellik bir kun davom etadi. Ayrim hollarda daryo qirg'oklariga va u yerda yashaydiganlarga ziyon yetkazadi[3]".

XX asr oxirida qurilishning me'yoriy qoidalariga ko'ra O'zbekiston hududida iqlim jarayoni 3ta iqlim zonaga bo'lingan. Qoraqalpog'iston hududi O'zbekistonning shimoliy-g'arb tomonida joylashib, 1 iqlim zonasiga kirib, issiq-quruq iqlimli ekstremal mintaqaga bo'lib hisoblanadi[4]. Birinchi zona uch qismga (1g, 1v va 1a) bo'lingan. Nukus shahri bo'lsa 1v hududida joylashgan. Mintaqaning 1g zonasi Qoraqalpog'istonning shimoliy hududini o'z ichiga olgan bo'lib, umumiy yer maydonining 60% ini tashkil etadi.

Qoraqalpog'iston Respublikasining janubiy mintaqasini o'z ichiga olgan 1v va 1a zonalar bu ko'rsatkichga mos ravishda hududning 30 % va 10 % dan tashkil qiladi.

Qoraqalpog'iston mintaqasidagi iqlim va ekologiya jarayoni aholi va arxitekturaga jiddiy ta'sirini o'tkazmoqda. G'arbdan sharqgacha bo'lgan oraliq 660 km, janubdan shimolga 440 km masofani tashkil etishi iqlim hududning turli qismida turlicha bo'lishidan dalolat beradi. Masalan, Boltiq dengizining g'arb tomonida balandligi 272 m bo'lgan Ustyurt tog'i, sharq tomonida balandligi 172 m bo'lgan Qizilkum tepaligi, shimol tomonida esa 53 m balandlikda Orol dengizi joylashgan bo'lib, bunday landshaft shamol oqimini tezlashtiradi va qishda shimol tarafda sovuqning, yozda issiq havo bosimining ko'payishiga olib keladi.

Qoraqalpog'iston hududining markazi Nukus shahrida yer sathining balandligi Boltiq dengizi bilan taqqoslaganda 76 m, janubdagi Beruniy tumanida 82 m bo'lsa, shimol mintaqadagi Mo'ynoq tumanida 53 m. Ustyurt, Qoratog' va Qizilqumning balandligini hisoblamaganda Amudaryo yo'nalishi bo'yicha ekinzor hududdagi janub tumanning yer sathi shimol tumanning yer sathi bilan taqqoslaganda yoki 600 km masofaga 30 m qiyalik to'g'ri kelmoqda.

Bu jarayon janub tomondagi Beruniy tumani hududiga yetmasdan perpendekulyar holatda joylashgan 473 m balandlikdagi Qoratog' tepaligigacha davom etib, Beruniy va To'rtkul tumanlarida Xorazm viloyati iqlimi bilan o'xshashlik vujudga kelgan.

Mo'ynoq va To'rtko'l tumanining masofasi 300 km. Demak, Nukus shahrining hududi tekisligi qumli shamol oqimini tezlashtiradi va qishda sovuqning, yozda issiq havo bosimining ko'payishiga olib keladi. Bunday jarayon Orol qumi, Amudaryo sohili qumi va Qizil qumida shamol tezlashishiga bog'liqligi obodonlashtirish ishlariga salbiy ta'sirini o'tkazmoqda.

ASOSIY QISM.

Bunday ekstremal mintaqada qishda kuchli sovuq shamol, qum aralashgan bo'ron shamollar va iqlimning tez o'zgaruvchi holatlari yuzaga keladi. Bunday muammoni kamaytirish maqsadida mahalliy me'morchilikda miloddan avvalgi davrdan boshlab qal'alar hududining tashqi devori va oddiy aholi uylaridagi hovli devorlari baland bo'lgan. Bu tashqi devorlar to'g'ri burchak yoki aylana shaklda qurilib, faqat harbiy himoya emas, iqlimning salbiy holatlariga qarshi kurashda foydalanilgan. Zamonaviy turar joy xonalari ichida mikroiklim sharoitini yaxshilash uchun Xorazmda 1982 yili tadqiqot ishlari A.A.Mahkamov rahbarligida olib borilgan[5]. Qoraqalpog'iston poytaxti Nukus shahrida esa 2010 yili X.M.Ubaydullayev va J.K.Shnekeyev tomonidan tadqiqot ishlari olib borilgan[6]

Ma'lumki, yarim asr davomida Orol dengizi suvining kamayishi sababli hudud ekologiyasi va iqlimidagi o'zgarishlar sezilarli darajada bo'ldi.

Masalan, 40 yildan buyon Amudaryo va Sirdaryo suvlarining Orol dengiziga yetib bormasligi tufayli dengiz sathi 53 m dan 26 m gacha pasaygan

XXI asr boshlarida Orol dengizi tubidan qumli bo'ronlar har yili 700 mln. tonna tuzli qum ko'tarilgan[7]. Qizilqumning barxan qumi, Amudaryo sohilining oq qumi va Orol dengizining tuzli oq qumlari shamol va atmosfera orqali yetarli darajada shahar muxitiga o'z ta'sirini yarim asrdan buyon ko'rsatib kelmoqda. Demak, eng avval Qoraqalpog'iston poytaxti Nukus shahrining kelajakda megapolis darajasida shakllanishi uchun shahar aholisiga qulay va sayyohlarga sharoit yaratish uchun ko'proq e'tibor qaratish zarur bo'lmoqda. Bu mintaqani ekologik jarayon ayniqsa bahor va yoz faslida o'z ichiga olgan, Orol dengizining quruq tubidan ko'tarilgan pestitsidlar bilan ifloslangan havo atmosferasida tuz changi mavjudligini hech kim inkor qila olmaydi[8].

Orol tuzlari atmosferaning havo kukuni bilan tarqalishi, taqsimoti XXI asr boshlarida Taxtakopir tumanida bir gektarga o'rtacha 50 kg/ga, Mo'ynoq tumanida 40 kg/ga, Nukus shahri va Qo'ng'irot, Xo'jayli tumanlarida 30 kg/ga to'g'ri kelmoqda. Ta'kidlash lozimki yaqin yillarda ham hovli baland devorlar bilan o'ralib, usti tom bilan to'silgani turar joylarni Xo'jayli eski shahar qismida saqlanib qolishi XX asr boshlarida ham atmosferaning o'zgarganligidan dalolat beradi. Quruq aerozollarning yerga tushish taqsimoti bir yil davomida Mo'ynoq tumanida 1 gektarga 10 tonnagacha, Qo'ng'irot tumanida 4tn/ga, Chimboyda 3tn/ga, Nukus shahrida 2 tn/ga to'g'ri keladi[9].

Qoraqalpog'iston hududida 2018 yilning o'zida ikki marta qum bo'ron sodir bo'ldi. Har bir qum bo'ronning tarkibida Orolning insoniyat sog'ligiga va binolar mustahkamligiga zarari bor tuzli changlari mavjud.

Masalan, "Uzb_Meteo" telegram kanalining ma'lumotiga ko'ra 2021 yil 1-dekabrda 13.10-14.40 vaqtida chang bo'ron ko'tarilib, shamol tezligi 20 m/s. ko'rish imkoniyati 900 m atrofida bo'lgan.

Orol dengizi suvining kamayishi sababli Qozog'istonda 140,3 mln ga, Rossiyada 57,3 mln ga, Turkmanstanda 17,3 mln ga, O'zbekistonda 15,6 mln ga yer maydonlari sho'rlangan.

XULOSA

Natijada, Orol dengizi atrofida namlik kamayib 5 mln gektar hududdan tuzli changning tepaga ko'tarilishi osonlashib uzoqqa yoki Tyanshan tog'iga va Grenlandiya muzliklarigacha borib tuzlar muzliklarning erishiga sabab bo'lmoqda. Olimlarning ma'lumoti bo'yicha Grenlandiya pingvinlarining qonidan Orol dengizining tuzi topilgan. Orol dengiziga yana-da ko'proq e'tibor berilmasa tuzli chang oqibatidan iqlimiy falokat yuz berishi mumkin. Bunga sabab bugungi kunda yarim asr avvalgi iqlim qonuni buzilgan yoki suv sirkulyatsiyasining masofasi kamayishi sababli O'zbekiston hududidagi tog'li hududlarda sel, suv toshqini ko'payishiga olib kelmoqda. Avval suvning sirkulyatsiyasi janubdan shimolga yerning qiyaligi sababli Orol dengiziga daryo orqali borib, dengizdan suv bug'lanib bulut bilan yana shimoldan janubga Gindikush va Pomir tog'iga qaytib keladi. Mana ikki yildan buyon qum bo'ronning soni ko'payib ta'sirini aholi yaqqol sezmoqda. Demak, bu jarayonni bartaraf qilish uchun barcha imkoniyatlardan foydalanish kerak.

Orol dengizining ochiq tekislik hududida bugungi kunda tez-tez shakllangan kichik quyunlarni bartaraf qilish uchun mahalliy xomashyosi qora tol yog'ochi va qamishli chiydan tayyorlangan kichik obyekt zarur bo'lmoqda. Obyektning balandligi 1m uzunligi 2,5 m, eni 1,5 m bo'lib saksovul yo'q yoki o'sish imkoniyati yo'q hududlarga mo'ljallangan va loyiha asosida amalga oshirilib Orol dengizi sohilliga o'rnatilgan. Obyektning vazifasi bugungi kichik qum bo'ronning va tuzli changning tepaga ko'tarilishini to'xtatadi. Agar kichik qum bo'ronlarning bir nechitasi bir vaqtda sodir bo'lib birlashib ketsa katta hajmdagi bo'ron yoki tornado shakllanadi va uning oldini oladi. Bundan tashqari cho'lda prezidentimiz tashabbusi bilan 1,5 mln. gektarga ekilgan saksovullar orasida yashayotgan va endi ko'payyotgan kichik hayvonlarga soyabon vazifasini bajaradi. Bu arxitekturaviy obyektidan foydalanishni ommaviylashtirishga O'zbekiston Respublikasi ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilishva iqlim o'zgarishi vazirligiga taqdim etilgan.

Qoraqalpog'iston va Orol hududida iqlim sharoitini yaxshilash uchun obodonlashtirish asosida yashil zonani tashkillashtirish zarur.

Iqlim va ekologik jarayon bo'yicha landshaft, obodonlashtirish muammolari Qoraqalpog'istonda O'zbekistonning boshqa viloyatlariga nisbatan 2-3 barobar mehnat va sarmoya ko'proq talab qilinadi. Tuzli chang yer osti sizot suvlarining ko'payishi nafaqat yashil zonaga arxitekturaviy obyektlarning mustahkamligiga sezilarli darajada o'z ta'sirini o'tkazmoqda. Bunga binolarning tez cho'kishi tuzli yer osti sizot suvlarining fundamentga ta'siri, tashqi devorlarning tuzli shamolga loyihadagi muddatigacha bardosh bera olmasligi misol bo'la oladi.

Qoraqalpog'iston hududining barcha tumanlarida yer osti suvining balandligi bir xil emasligi arxitekturaviy binolarni qurishda o'z ta'sirini o'tkazmoqda. Masalan, janubiy hududda joylashgan Beruniy tumanida 3 m, shimol hududida Chimboyda 2,5 m, Mo'ynoqda 5,2 m va markazda joylashgan Nukus shahrida yer osti sizot suvlarining 1,2 m gacha ko'tarilishi, ekologik atmosferaning binoga, poydevoriga tuzli suvning ta'siri poydevor sifatini kamaytirishi va binoning cho'kuvchanligi sababli an'anaviy binolarning konstruktiv tizimiga o'z ta'sirini ko'rsatganligi aniqlanmoqda.

Mintaqa so'nggi besh yilda O'zbekiston Prezidenti Shavkat Mirziyoyev tashabbusi bilan BMSH (Birlashgan Millatlar Tashkiloti) Bosh assambleyasining 75 sessiyasida **“Orol bo'yi mintaqasi - ekologik innovatsiyalar va texnologiyalar hududi”** deb e'lon qilish to'g'risidagi maxsus rezolyutsiyasi qabul qilingan.

“Bugunga kelib, Orol dengizining qurigan tubida 1,6 million gektar maydonga saksovul va sahro iqlimiga chidamli boshqa o'simliklar ekib, o'rmon bunyod etdik. Keyingi yildan boshlab 1 million gektar hududga Orolqum milliy tabiat bog'i tashkillashtiriladi. Har bir yashil xudud mutassadi shaxslarni aniqlab ularga topshiriladi. Ura-ura deb bugun daraxtlarni ekib, ertasiga tashlab ketish bo'lmaydi” - deb ta'kidladi prezidentimiz Sh.Mirziyoyev. [10].

Shaharsozlikdagi arxitektura va landshaftni obodonlashtirish. Issiq-quruq iqlimli mintaqada shaharsozlikni rivojlantirishda, shahar hududiga zamonaviy bog' va xiyobonlar bunyod etish dolzarb muammo bo'lmoqda. Bunga sabab kam qavatli binolar buzilib, o'rniga baland qavatli binolarning qurilishi hamda aholi va transportlar sonining ko'payishidir. Shaharning hududi kengayib havo sirkulyatsiyasi kamaymoqda. Transportlar harakatlanishining ko'payishi shaharning ichki kichik nosoz ekologik muhitni hosil qilmoqda.

Mintaqaning barcha shaharlar va tuman markazlarida bunday kichik va yirik ekologik jarayon mavjud. Lekin mintaqaning markazida joylashgan va aholisi gavjum bo'lgan Nukus shahrining ekologik jarayonini tahlil qiladigan bo'lsak quyidagi xulosalarga kelamiz:

1932 yildan boshlab 4 yil davomida Nukus shahar hududini obodonlashtirish, yer osti sizot suvini kamaytirish uchun, bog' va xiyobonlar bunyod etish obodonlashtirish ishlari davom ettirilgan.

Ikkinchi jahon urishi davrida obodonlashtirish bo'yicha ikki narsaga katta e'tibor berilgan: 1) irrigatsiya, 2) shaharning planirovkasi va ko'kalomzorlashtirish.

O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Maxkamasining 1962 yil iyunda bir nechta yo'nalishda ish uchastkasi tuzilib ish olib borilgan. “Sredazgiprovodxoz” loyihalash institutiga bergan topshirig'i bo'yicha 1968 yil Nukus markazida 16 ta vertikal drenaj qazilib qo'shimcha 6 dona “Qizketken” kanalining yer tagidagi suvni filtrlashda tadqiqot ishlari olib borilgan. Nukusda ilmiy-amaliy konferensiya tashkillashtirilib yer osti sizot suvining yuqori ekanligi muammosi ko'tarildi. Konferensiya maslahati asosida shahar markazidagi irrigatsiya tarmoqlarini betonlab qoplash ishlari bajarildi. 1980 yildan keyin Orolning ekologik ta'siri kuchayib bog'larning rivojlanish saviyasi kamaydi. Mustaqillik yillarining boshlarida Orol dengizidagi tuzli qumlarning atmosfera va yer osti sizot suvlari orqali ta'siri sababli nosoz ekologik muhit hosil bo'lib, “Botanika” va “Jengis” bog'i yo'q bo'lib ketdi va o'rnida sport kolledji, jahonga tanilgan I.V.Savitskiy muzeyi va 4000 tamoshabinga mo'ljallangan Amfiteatr qurildi.

Nukus shahriga yer osti sizot suvi yaqin bo'lganligi, Orolning tuzli oq qumi, Qizilqumning ta'siri, ekologik jarayonni shakllantirib Jengis (pobeda) nomidagi parkdagi daraxtlarning yo'q bo'lib ketganligi sababli janub tomondagi temir yo'l vokzalining yonidagi daraxtzor hududga ko'chirildi[11]. Masalan, Toshkentdagi daraxtlar balandligi o'rtacha 15 metr gacha bo'lsa, Nukus shahrida daraxtning balandligi ikki barobar kamligining sababi shundaki, ekologik jarayon daraxt

va o'simliklarga salbiy ta'sirini hamda binolarning tashqi materiallarga va cho'kishiga o'z ta'sirini sezilarli darajada ko'rsatmoqda. Shahar bo'yicha Botanika bog'i hududida binolar qurilib ketgan bo'lib, faqat Amir Temur parki 4 ga, Istiqlol bolalar parkida 4,3 ga jami 8,3 ga maydonga ega bog' bor.

2013 yili 3,4 ga suv maydoniga ega "Kvadrat" deb nomlangan ko'lining atrofida hududi 14,3 ga, "Istiqlol" bolalar bog'i va shaharning aholi hududi gavjum bo'lgan 23 - kichik tumanining janub tomonida A.Dosnazarov ko'chasi bo'yida Amir Temur istirohat bog'i 8,1ga hududga kengaytirildi. 2013 yili Nukus shahrida davlat dasturi asosda rekonstruksiya ishlari olib borilib shahar markazidan kesib o'tuvchi Do'stlik kanali 4 km uzunlikda ikki sohilidagi cheti betonlanib, qayta ta'mirlandi va ikki tomoniga bulvar sifatida 18,1 ga hududni zamonaviylashtirish va obodonlashtirish ishlari muallif ishtirokida 2015 yili bajarildi (1.4.6-rasm). Bu usul Nukus shahridagi yer osti sizot suvlarini ozgina kamaytirdi

Shahar hududida bundan tashqari bir nechta xiyobonlar shakllandi. XXI asr boshlarida Jo'qargi Kengashning old qismida Samarqanddagi Registon ansambli singari kompozitsiya shakllandi va uning markazida hiyobon bunyod etildi. Hiyobonda jahonning eng yaxshi xushbo'y daraxtlari, zamonaviy favvora, Berdaq haykali o'rnatilib shahar markaziga xos xiyobon shakllandi. Shaharda bir nechta xiyobonlar bunyod etildi: aeroportning old qismida 5 ga maydonga ega xiyobon, I.V.Savitskiy muzeyi xiyoboni, Qoraqalpoq davlat universitetining Berdaq muzeyi xiyoboni, Mustaqillik maydoni xiyoboni, Ona yodgorligi old qismidagi xiyobon, "Imom eshon Muhammad jome" masjidi xiyoboni.

Orol dengizining qurigan tubiga 2018-2021 yillar mobaynida 1,6 mln.ga maydonga "yashil qoplama" bunyod etilgani bilan bu 30% ni tashkil etadi.

Mutaxassislar ma'lumotiga ko'ra janubiy Orol bo'yiga ekilganiga 3 yil bo'lgan o'simliklar balandligi 2 m ga yetib chang va qumning havoga ko'tarilishini to'xtata boshlagan. Bir dona saksovul 4-10 tonna ko'chki qumni to'xtatish imkonini bergan. Bugungi kunda o'simliklarni ekish asosida yangi o'rmonchilik ekotizimlarini bunyod etish sababli, bu hududga quyon tulki, qirg'avul, tung'iz va sayg'oqlar kelishiga imkon berildi. Akademik Z.Noviskiyning ma'lumotiga ko'ra yaqin yillarda bu hududda asalchilik va tuyachilikni rivojlantirishni yo'lga qo'yilishi rejalashtirilgan.

Shunindek, shaharda tashkil etilgan bog', xiyobon, bulvarlarning umumiy maydonlari 70 gektar yoki aholi bilan taqqoslaganda shaharsozlik me'yori bo'yicha 10 % ni emas, 2 % ni tashkil etmoqda.

Ekologik muxit asosan yoz mavsumida avj olishini hisobga olib aholisi gavjum bo'lgan Nukus shahrida 4 ta an'anaviy va 5 qavatli keramzit betondan qurilgan turar joylarda 2010 yil iyulda tajriba ishlari olib borildi. Tajriba o'tkazish jarayonida barograf, gigrograf va termograf uskunolari binoning hovlisiga, koridoriga, mehmonxona, yotoqxona va lodjiyasiga 1m balandlikda joylashtirilib bir hafta davomida kuzatildi. Tadqiqot iyul oyida 5 ta binoda olib borilib, binoning xona va tashqaridagi namlik va harorat darajasi aniqlandi. Harorat 1 va 2 tipdagi bino yotoqxonasida normal holat yoki 29 gradusga to'g'ri keldi. Bunga hovlidagi daraxtlarning borligi va binoga kirish qismida katta hajmdagi dalon xonasi eshigi shimolga qaratilganligi sabab bo'lgan. Tadqiqot olib borilgan binolarda 1 va 2 - tipdagi uylarda namlik 56 foizgacha ko'tarilsa, boshqa tiplarda 10 foizgacha kamaygan.

Natijada, Qoraqalpog'iston hududi ekologik jihatidan jahon mummosiga aylanib bo'lgan. Agar Orol dengizining barcha sohiliga saksovul bunyod etilsa, saksovulning o'sish imkonini yo'q hududdagi qumning tepaga ko'tarilishining oldini olishga muallifning loyihasidagi kichik arxitekturaviy obyektlar joylashtirilsa va Orolga suvni yetkazish imkonini topilsa Qoraqalpog'iston hududi jannat makoni bo'lar edi.

Adabiyotlar

- [1]. Горохов В.А./Городское зеленое строительство. //Укув қўлланма. М.:Строиздат.1991.Б-197
- [2]. Masharipova S.A. /Qoraqalpog'iston Respublikasining tabiiy iqlim sharoitida qurilish an'analari. // Arxitektura. Qurilish. Dizayn. T.2019.S-15-17
- [3]. Беруни А.Р. Памятники минувших поколений//Пер. и прим. М.А.Салье// Избранные произведения Т.І. 1957; 516-б.,Беруни, 1957, 293.б

- [4]. КМК 2.01.01-94 /Климатические и физико-геологические данные для проектирования. Государственный комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству. Тошкент 1994
- [5]. Махкамов А.А., Когай И.А /От эксперимента к массовому строительству жилых домов. // Архитектура и строительства Узбекистана.Т.:1982
- [6]. Шнекеев Ж.К., Убайдуллаев Х.М /Некоторые наблюдения микроклимата жилых домов в условиях Каракалпакстана. // Архитектура и строительство Узбекистана. – Т.:2011. №3.-с.15-17
- [7]. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz.// Monografiya.T.:»O‘zbekiston» 2017. 212b
- [8]. Матчанов А.Т., Косназаров К.А и др. /Современные рекомендации по предотвращению отрицательных влияний пыле-солевого выпадения на биотические и абиотические объекты в Южном Приаралье//«Билим», -Нукус: 2005.С.25-50.
- [9]. Убайдуллаев. Х.М., Косназаров .К.А., Шнекеев Ж.К./Экологическая оценка территории Южного Приаралья и её влияние на проектирование и строительство в этом регионе//. Архитектура и строительство Узбекистана.- Тошкент, 2011.- №1. – с.19-20
- [10]. ¹Makan.uz.21.09.2021
- [11]. Uralov A.S., Shnekeyev J.K.,Yerimbetov I./Nukus shaharsozligida iqlim sharoitlari va obodonlashtirish. // Problemi arxitekturi i stroitelstva- Samarkand, 2020. - №3. – С.67-71.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ И ВЛАЖНОСТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕНОБЕТОНА С ПЕРЛИТОВЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ ДЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТЕНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.С. Исмаилова

¹Докторант Ургенчского государственного университета

E-mail: ismaylovaaysuliw676@gmail.com

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

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация. В статье представлен аналитический подход к проектированию неавтоклавного пенобетона, модифицированного вспученным перлитом и карбонатным микрофиллером, для энергоэффективных стеновых элементов. Основное внимание уделено совместному управлению плотностью, прочностью при сжатии, теплопроводностью, капиллярным водопоглощением и устойчивостью структуры в ранние сроки твердения. Рассмотрены четыре состава в диапазоне плотности 550-850 кг/м³. Показано, что состав PFC-750 обеспечивает наиболее сбалансированный комплекс свойств: прочность 3,58 МПа, теплопроводность 0,142 Вт/(м·К), умеренное водопоглощение и наибольший интегральный показатель эффективности. Предложенные рекомендации могут использоваться при предварительном подборе составов пенобетона для малоэтажного строительства в жарко-сухих и засоленных регионах.

Ключевые слова: Пенобетон, Вспученный Перлит, Карбонатный Микрофиллер, Теплопроводность, Капиллярное Водопоглощение, Стеновые Элементы, Жарко-Сухой Климат.

Abstract. The article presents an analytical approach to designing non-autoclaved foam concrete modified with expanded perlite and carbonate microfiller for energy-efficient wall elements. The primary focus is on the joint control of density, compressive strength, thermal conductivity, capillary water absorption, and structural stability during the early period of solidification. Four compositions with densities ranging from 550 to 850 kg/m³ were considered. It was shown that the PFC-750 composition ensures the most balanced set of properties: strength of 3.58 MPa, thermal conductivity of 0.142 W/(m·K), moderate water absorption, and the highest integral efficiency indicator. The proposed recommendations can be used in the preliminary selection of foam concrete compositions for low-rise construction in hot, dry, and saline regions.

Keywords: Foam concrete, Inflated perlite, Carbonate microfiller, Heat conductivity, Capillary water absorption, Wall elements, Hot-dry climate.

Annotatsiya. Maqolada energiya tejamkor devor elementlari uchun ko‘pchitilgan perlit va karbonatli mikrofiller bilan modifikatsiyalangan noavtoklav ko‘pikbetonni loyihalashga tahliliy yondashuv keltirilgan. Asosiy e‘tibor zichlikni, siqilishdagi mustahkamlikni, issiqlik o‘tkazuvchanlikni, kapillyar suv shimuvchanlikni va qotishning dastlabki muddatlarida strukturaning barqarorligini birgalikda boshqarishga qaratilgan. 550-850 kg/m³ zichlik oralig‘ida to‘rtta tarkib ko‘rib chiqildi. PFC-750 tarkibi eng muvozanatli

xossalar majmuasini ta'minlashi ko'rsatilgan: mustahkamlik 3,58 MPa, issiqlik o'tkazuvchanlik 0,142 W/(m·K), o'rtacha suv shimuvchanlik va eng yuqori integral samaradorlik ko'rsatkichi. Taklif etilgan tavsiyalar issiq-quruq va sho'rlangan hududlarda kam qavatli qurilish uchun ko'pikbeton tarkiblarini dastlabki tanlashda qo'llanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: Ko'pikli beton, Ko'pchitilgan perlit, Karbonatli mikrofiller, Issiqlik o'tkazuvchanlik, Kapillyar suv shimuvchanlik, Devor elementlari, Issiq-quruq iqlim.

1 ВВЕДЕНИЕ

Пенобетон относится к легким цементным композитам, в которых теплоизоляционная эффективность определяется объемом и равномерностью искусственно сформированных воздушных пор. Для стеновых элементов такая структура позволяет снизить массу ограждающих конструкций и уменьшить теплопотери здания. Однако уменьшение плотности обычно сопровождается снижением прочности, ростом водопоглощения и повышенной чувствительностью к режиму ухода.

В условиях жарко-сухого климата особое значение приобретает устойчивость поровой структуры и защита материала от раннего испарения влаги. Быстрая потеря воды может привести к усадочным микротрещинам, а открытая капиллярная сеть повышает риск солевого переноса. Поэтому проектирование пенобетона должно учитывать не только марочную плотность, но и влажностно-теплотехнические показатели.

Цель работы заключается в разработке расчетно-аналитического подхода к выбору состава пенобетона с перлитовым наполнителем и карбонатным микрофиллером, обеспечивающего рациональное сочетание прочности, теплоизоляционных свойств и влагостойкости.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве базовой системы рассматривался неавтоклавный пенобетон на портландцементе, тонком песке, вспученном перлите, карбонатном микрофиллере, поликарбоксилатном суперпластификаторе и заранее приготовленной белковой пене. Перлит использовался как легкий минеральный компонент, снижающий среднюю плотность и теплопроводность, а карбонатный микрофиллер - как компонент, улучшающий упаковку частиц в цементной матрице.

Сравнительная серия включала четыре состава с целевой плотностью от D550 до D850. В отличие от предельного облегчения, выбранный диапазон ориентирован на стеновые элементы, которым требуется не только низкая теплопроводность, но и достаточная прочность для транспортирования, кладки и эксплуатации.

$$I = 0.35R_n + 0.30T_n + 0.20W_n + 0.15 C_n \quad (1)$$

где I - интегральный показатель эффективности; R_n - нормированная прочность; T_n - нормированный теплотехнический показатель; W_n - нормированный показатель водопоглощения; C_n - нормированный показатель капиллярного водопоглощения. Чем выше значение I , тем более сбалансированным считается состав.

Таблица 1.
Составы пенобетона с перлитовым наполнителем для сравнительной оценки.

Смеш.	Цем.	Пер.	MF	В/Ц	D
PFC550	260	42	55	0.44	D550
PFC650	280	38	65	0.41	D650
PFC750	305	32	78	0.38	D750
PFC850	335	24	90	0.36	D850

Количество компонентов в таблице приведено в кг/м³, кроме отношения В/Ц. Пена вводилась на заключительной стадии перемешивания после получения однородной

цементно-минеральной суспензии. Такой порядок позволяет уменьшить разрушение воздушных ячеек и стабилизировать фактическую плотность смеси.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные расчетно-скрининговые данные показывают закономерное повышение прочности при увеличении плотности. Это связано с ростом доли твердой цементно-минеральной матрицы и увеличением толщины межпоровых перегородок. При этом теплопроводность также возрастает, поскольку уменьшается относительный объем воздуха в структуре материала.

Таблица 2.

Расчетные свойства пенобетонных составов после 28 суток твердения.

Смеш.	Плотность	R ₂₈	λ	Вода	в/ц.
PFC550	545	1.72	0.096	34.6	0.42
PFC650	635	2.64	0.118	31.8	0.36
PFC750	720	3.58	0.142	28.7	0.31
PFC850	825	4.36	0.171	26.4	0.29

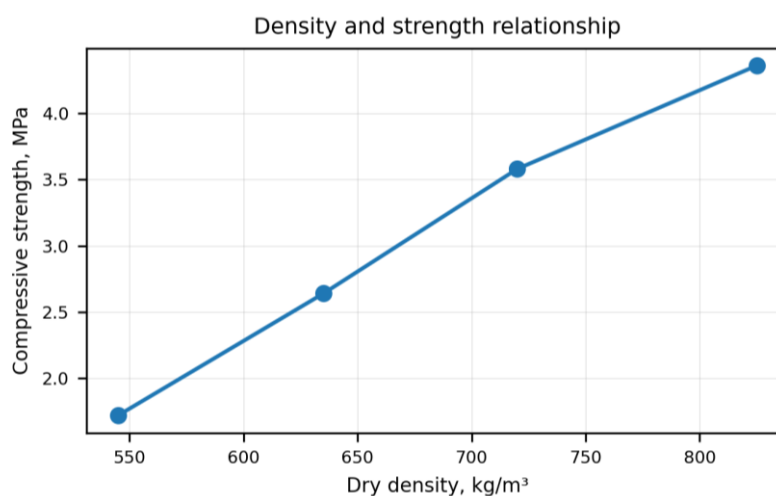


Рисунок 1. Связь между сухой плотностью и прочностью на сжатие пенобетона с модификацией перлитом.

Кривая на рисунке 1 отражает почти линейное повышение прочности в выбранном диапазоне плотности. Однако практический выбор состава не должен основываться только на прочности, поскольку увеличение плотности ухудшает теплоизоляционную эффективность стенового элемента.

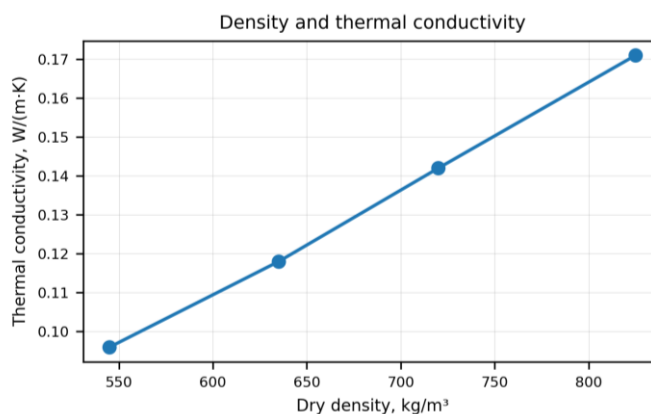


Рисунок 2. Связь между сухой плотностью и теплопроводностью.

Рисунок 2 показывает, что теплопроводность возрастает от 0,096 до 0,171 Вт/(м·К). Состав PFC-550 обладает наилучшей теплоизоляционной способностью, однако его прочность ограничивает область применения. Состав PFC-850 более прочный, но его теплотехническое преимущество по сравнению с более легкими вариантами снижается.

Таблица 1.

Области рационального применения исследованных составов.

класс	Основное преимущество	Конструкционное ограничение	Область применения
D550	Самый низкий λ	Низкое значение R28	заливная теплоизоляция
D650	Маловесный	Умеренное значение R28	ненесущие стены
D750	сбалансированный	Контроль отверждения	стенные блоки
D850	высокий R ₂₈	Более высокое значение λ	базовые слои

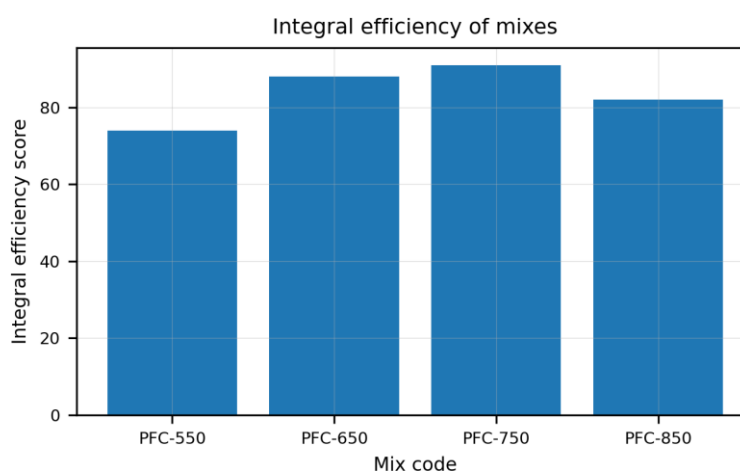


Рисунок 3. Интегральный балл эффективности пенобетонных составов, модифицированных перлитом.

Интегральная оценка показывает, что наибольший баланс достигается у состава PFC-750. Его преимущество связано с тем, что прирост прочности уже достаточен для стеновых блоков, а увеличение теплопроводности еще не приводит к потере теплоизоляционной функции. Составы более низкой плотности целесообразны для ненесущей теплоизоляции, тогда как составы высокой плотности рациональны там, где требуется повышенная технологическая прочность.

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для получения стабильной структуры рекомендуется предварительно контролировать кратность и стойкость пены. Фактическая плотность свежей смеси должна проверяться в каждой партии, поскольку отклонение плотности является быстрым индикатором нарушения поровой структуры. В жаркую погоду формы следует защищать от прямого солнца и ветра в течение первых 24-48 часов.

Перлитовый компонент должен вводиться в сухую смесь после предварительного перемешивания цемента, песка и микрофиллера. Слишком интенсивное перемешивание после добавления пены не допускается, поскольку оно приводит к разрушению воздушных ячеек. Для уменьшения водопотребности и повышения однородности матрицы рекомендуется применять суперпластификатор совместно с оптимизированным водовязущим отношением.

5 ВЫВОДОВ

Разработана сравнительная серия пенобетонных составов с перлитовым наполнителем и карбонатным микрофиллером для энергоэффективных стеновых элементов. Показано, что снижение плотности улучшает теплотехнические показатели, но требует контроля прочности и капиллярного водопоглощения.

Наиболее сбалансированным в предложенной серии является состав PFC-750 с плотностью около 720 кг/м³, прочностью 3,58 МПа и теплопроводностью 0,142 Вт/(м·К). Такой вариант может быть рекомендован для последующей лабораторной проверки и опытного изготовления стеновых блоков.

Практическая значимость работы заключается в предложении компактного алгоритма предварительного выбора состава, который одновременно учитывает прочность, теплопроводность и влажностную устойчивость материала.

Список литературы

- [1]. K. Ramamurthy, E.K.K. Nambiar and G.I.S. Ranjani, "A classification of studies on properties of foam concrete", Cement and Concrete Composites, Vol. 31, No. 6, pp. 388-396, 2009.
- [2]. O. Gencel, T. Bilir, Z. Bademler and T. Ozbakkaloglu, "A detailed review on foam concrete composites: Ingredients, properties, and microstructure", Applied Sciences, Vol. 12, No. 11, Article 5752, 2022.
- [3]. E.K.K. Nambiar and K. Ramamurthy, "Fresh state characteristics of foam concrete", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 20, No. 2, pp. 111-117, 2008.
- [4]. ASTM C796/C796M-19, Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam, ASTM International, 2019.
- [5]. ASTM C869/C869M-24, Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete, ASTM International, 2024.
- [6]. A.M. Neville, Properties of Concrete, 5th ed., Pearson Education, London, 2011.
- [7]. M.R. Jones and A. McCarthy, "Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material", Magazine of Concrete Research, Vol. 57, No. 1, pp. 21-31, 2005.

РЕГУЛИРОВАНИЕ РАННЕГО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ AS и Sika® ViscoCrete®-1095

Кодирова Х.

Каракалпакский государственный университет, Каракалпакстан, Узбекистан

*Автор для корреспонденции, e-mail: khalidakadirova@gmail.com

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация. Работа посвящена оценке влияния ускорителя твердения AS и поликарбоксилатного суперпластификатора Sika® ViscoCrete®-1095 на нормальную плотность цементного теста, сроки схватывания и развитие прочности мелкозернистой цементно-песчаной матрицы, используемой как промежуточная модель при проектировании неавтоклавного пенобетона D400. В отличие от исследований, где основное внимание уделяется уже сформированному пенобетону, в настоящей статье рассмотрена стадия подготовки матрицы до введения технической пены. Показано, что при дозировке AS 0,05-0,08% нормальная плотность практически не изменяется, тогда как при дозах выше 0,3% сроки схватывания резко сокращаются. Для мелкозернистого бетона с постоянной подвижностью рациональный интервал AS составил 0,07-0,09% от массы цемента. При совместном применении AS и Sika® ViscoCrete®-1095 в дозе 0,9% прочность через 28 суток нормального твердения достигала 64,1-65,6 МПа, что на 41-44% выше базового состава с суперпластификатором без ускорителя. Полученные результаты обосновывают выбор химической части комплексной модификации для последующего формирования стабильной пористой структуры D400.

Ключевые слова: пенобетон, цементное тесто, мелкозернистый бетон, AS, Sika® ViscoCrete®-1095, сроки схватывания, ранняя прочность, водоцементное отношение.

Annotatsiya. Mazkur ish AS qotishni tezlashtiruvchi qo'shimchasi va Sika® ViscoCrete®-1095 polikarboksilatli superplastifikatorining sement xamirining normal quyuqligi, qotish muddatlari hamda avtoklavsiz D400 ko'pikbetonni loyihalashda oraliq model sifatida qo'llaniladigan mayda donali sement-qum matritsasining mustahkamlik rivojlanishiga ta'sirini baholashga bag'ishlangan. Asosiy e'tibor shakllangan ko'pikbeton xossalari qaratilgan tadqiqotlardan farqli ravishda, ushbu maqolada texnik ko'pik kiritilishidan oldingi matritsani tayyorlash bosqichi ko'rib chiqilgan. Ko'rsatilishicha, AS 0,05–0,08% miqdorda qo'llanganda sement xamirining normal quyuqligi deyarli o'zgarmaydi, biroq 0,3% dan yuqori dozalar qotish muddatlarining keskin qisqarishiga olib keladi. Doimiy harakatchanlikka ega mayda donali beton uchun AS ning maqbul miqdor oralig'i sement massasiga nisbatan 0,07–0,09% ni tashkil etgan. AS va Sika® ViscoCrete®-1095 superplastifikatori 0,9% miqdorda birgalikda qo'llanganda, normal qotish sharoitida 28 sutkadan keyingi mustahkamlik 64,1–65,6 MPa ga yetgan. Bu ko'rsatkich tezlatkichsiz, faqat superplastifikator qo'llangan bazaviy tarkibga nisbatan 41–44% yuqoridir. Olingan natijalar keyinchalik D400 ko'pikbetonda barqaror g'ovak tuzilmani shakllantirish uchun kompleks modifikatsiyaning kimyoviy qismini tanlashni ilmiy jihatdan asoslaydi.

Kalit so'zlar: ko'pikbeton; sement xamiri; mayda donali beton; AS; Sika® ViscoCrete®-1095; qotish muddatlari; dastlabki mustahkamlik; suv-sement nisbati.

Abstract. This study is devoted to evaluating the effect of the AS hardening accelerator and the polycarboxylate superplasticizer Sika® ViscoCrete®-1095 on the normal consistency of cement paste, setting time, and strength development of a fine-grained cement-sand matrix used as an intermediate model in the design of non-autoclaved D400 foam concrete. Unlike studies that mainly focus on already formed foam concrete, this article examines the matrix preparation stage prior to the introduction of technical foam. It is shown that, at an AS dosage of 0.05–0.08%, the normal consistency of the cement paste remains almost unchanged, whereas dosages above 0.3% lead to a sharp reduction in setting time. For fine-grained concrete with constant workability, the rational AS dosage range was found to be 0.07–0.09% by weight of cement. When AS was used together with Sika® ViscoCrete®-1095 at a dosage of 0.9%, the 28-day compressive strength under normal curing conditions reached 64.1–65.6 MPa, which is 41–44% higher than that of the reference mixture containing the superplasticizer without the accelerator. The obtained results substantiate the selection of the chemical component of complex modification for the subsequent formation of a stable porous structure in D400 foam concrete.

Keywords: foam concrete; cement paste; fine-grained concrete; AS; Sika® ViscoCrete®-1095; setting time; early strength; water-cement ratio.

Введение

Неавтоклавный пенобетон относится к материалам, качество которых определяется не только общей пористостью, но и состоянием цементной матрицы, разделяющей воздушные ячейки. При низкой средней плотности материал особенно чувствителен к водоцементному отношению, скорости гидратации и устойчивости межпоровых перегородок. Если матрица остается недостаточно связанной на ранней стадии, введенная пена частично разрушается, возрастает вероятность осадки, водоотделения и укрупнения пор. Поэтому выбор химических добавок целесообразно начинать не с готового пенобетона, а с анализа цементного теста и мелкозернистой цементно-песчаной системы.

В принятой технологической схеме основными химическими регуляторами выступают ускоритель твердения AS и суперпластификатор Sika® ViscoCrete®-1095 на основе поликарбоксилатных эфиров. Первый компонент задает скорость формирования начальной структуры, второй позволяет снизить водоцементное отношение без потери подвижности. Их совместное действие должно обеспечивать не только рост прочности, но и более благоприятные условия для последующего введения пены, поскольку устойчивость пенобетонной смеси зависит от вязкости и связности матрицы.

Цель настоящей статьи - определить рациональный диапазон дозировки AS и оценить его совместимость с Sika® ViscoCrete®-1095 по показателям нормальной густоты, сроков схватывания и прочности мелкозернистой матрицы. Полученные данные предназначены для обоснования химической части комплексного модификатора в технологии неавтоклавного пенобетона D400.

Материалы и методы

В качестве вяжущего применялся портландцемент СЕМ I 42,5 N. Модельная матрица для проверки прочностного эффекта представляла собой цементно-песчаный бетон с соотношением цемент:песок = 1:4 и расходом цемента 385 кг/м³. Подвижность смеси поддерживалась на уровне расплыва стандартного конуса РК = 27-28 см, что позволило сопоставлять составы при одинаковой технологической консистенции. Ускоритель AS вводился в количестве 0,05-3,0% от массы цемента; суперпластификатор Sika® ViscoCrete®-1095 использовался в дозах 0,4; 0,6 и 0,9%.

Нормальную густоту цементного теста и сроки схватывания оценивали по стандартной методике с применением прибора Вика. Для мелкозернистых составов определяли водоцементное отношение, расплыв конуса и прочность при сжатии после тепловлажностной обработки (ТВО) и нормального твердения. Для каждого состава результаты прочности принимались как средние значения по серии образцов; численные значения в таблицах приведены для сравнительной оценки влияния дозировки AS.

Таблица 1.

Влияние AS на нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста

AS, %	НГЦТ, %	Начало схватывания	Конец схватывания
0	24,75	4-00	8-30
0,05	24,75	3-50	8-10
0,07	24,75	3-40	8-00
0,10	25,25	3-20	6-30
0,30	25,75	1-50	5-10
1,00	27,0	0-50	2-10
3,00	28,25	0-15	0-25

Таблица 2.

Прочность мелкозернистого бетона при рациональных дозах AS

Sika® ViscoCrete®- 1095, %	AS, %	В/Ц	РК, см	Рсж после ТВО, 28 сут., МПа	Рсж после нормального твердения, 28 сут., МПа
0,6	0	0,46	28	42,2	43,1
0,6	0,07	0,46	28	51,2	56,2
0,6	0,09	0,46	27	50,1	55,6
0,9	0	0,43	28	43,4	45,6
0,9	0,07	0,43	28	62,3	65,6
0,9	0,09	0,43	27	61,6	64,1

Результаты

Изменение нормальной густоты при малых дозах AS оказалось минимальным. При 0,05-0,08% показатель сохранялся на уровне 24,75%, то есть ускоритель не увеличивал водопотребность теста. Начиная с 0,09-0,10%, отмечался постепенный рост НГЦТ, а при 1-3% увеличение становилось технологически значимым. Это указывает на то, что слишком высокая концентрация электролита ускоряет образование ранних гидратных продуктов и повышает сопротивление деформированию цементного теста.

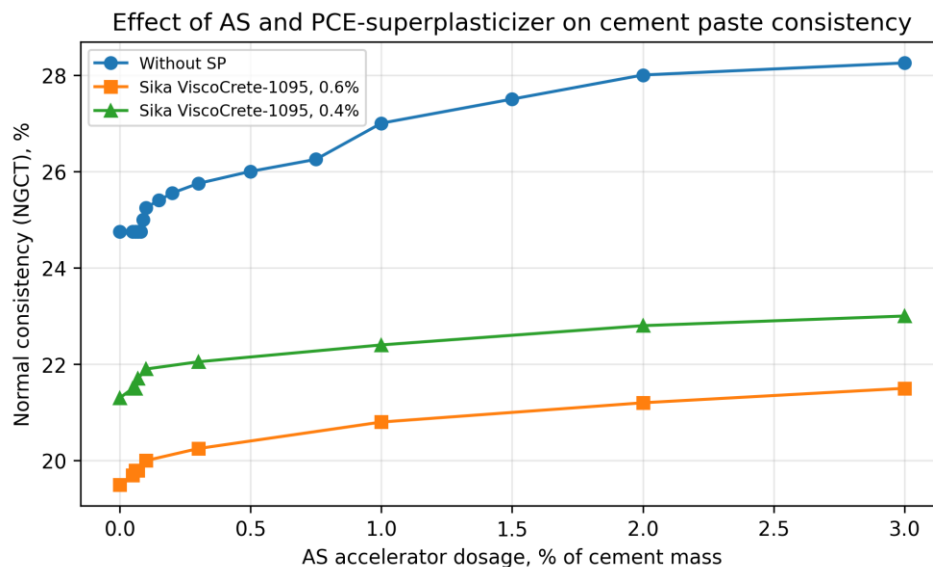


Рисунок 1 – Зависимость нормальной густоты цементного теста от дозировки AS и присутствия Sika® ViscoCrete®-1095.

Анализ сроков схватывания показал иной характер изменения. Даже при 0,05-0,08% наблюдалось небольшое сокращение начала и конца схватывания, однако оно не нарушало технологический интервал переработки смеси. При дозах 0,3% и выше процесс резко ускорялся: начало схватывания смещалось до 1 ч 50 мин и менее, а при 2-3% происходило почти мгновенное загустевание. Для пенобетонной технологии такой режим нежелателен, поскольку время на ввод и равномерное распределение пены существенно сокращается.

В мелкозернистом бетоне действие AS проявилось более отчетливо через прирост

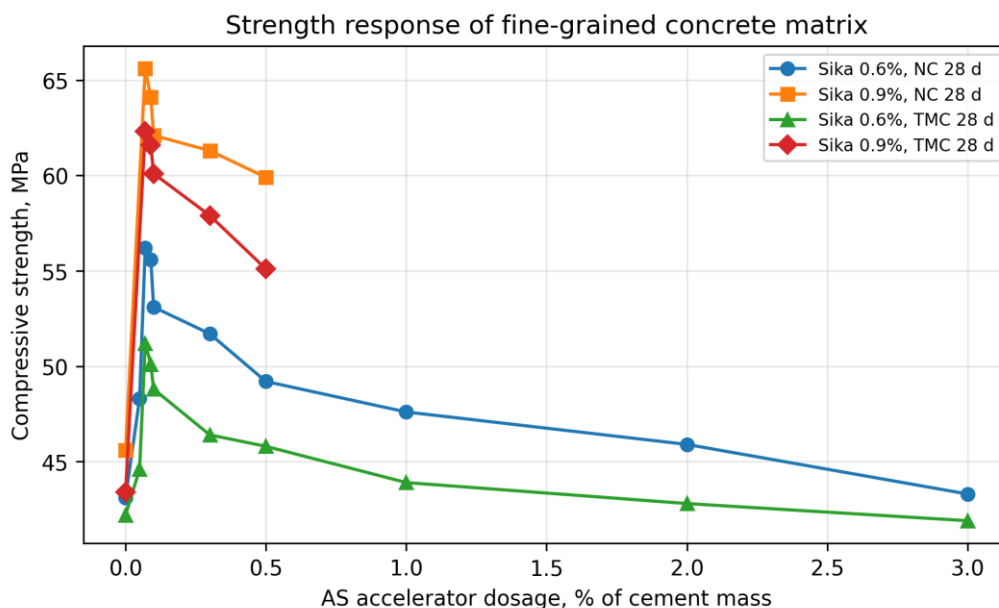


Рисунок 2 – Прочность мелкозернистой матрицы при различных дозах AS и Sika® ViscoCrete®-1095

прочности. При Sika® ViscoCrete®-1095 в дозе 0,6% рациональный диапазон AS 0,07-0,09% обеспечил 28-суточную прочность 55,6-56,2 МПа при нормальном твердении. При увеличении дозы суперпластификатора до 0,9% и сохранении AS 0,07-0,09% прочность возросла до 64,1-65,6 МПа. При дальнейшем повышении AS до 0,3-0,5% эффект снижался, что подтверждает наличие оптимума.

Обсуждение

Полученные закономерности объясняются сочетанием двух механизмов. Sika® ViscoCrete®-1095 диспергирует цементные частицы и снижает количество свободной воды в

системе, что создает предпосылки для более плотной упаковки твердой фазы. AS, в свою очередь, ускоряет ранние гидратационные реакции и способствует более быстрому образованию контактной сетки между частицами. При дозах 0,07-0,09% эти эффекты согласуются: смесь сохраняет приемлемую подвижность, но скорость формирования структуры возрастает. При избыточных дозах ускорителя образуется слишком жесткая и быстро схватывающаяся система, что ухудшает технологическую пригодность.

Для пенобетона D400 важен не только абсолютный уровень прочности цементно-песчаной матрицы, но и ее состояние к моменту введения пены. Матрица с низким водоцементным отношением и умеренно ускоренной гидратацией лучше удерживает межпоровые перегородки, снижает вероятность водоотделения и осадки. Поэтому выбранный интервал AS 0,07-0,09% является технологически обоснованным переходным звеном от исследований цементного теста к проектированию пенобетонных составов с GGBFS, активированным цеолитом и метакралин-гипсовым компонентом.

Заключение

1. Установлено, что AS в количестве 0,05-0,08% практически не изменяет нормальную плотность цементного теста, но умеренно сокращает сроки схватывания, сохраняя технологический интервал переработки смеси.

2. Повышение AS выше 0,3% приводит к резкому сокращению сроков схватывания и росту водопотребности, поэтому такие дозировки нецелесообразны для пенобетонной технологии.

3. Совместное применение AS 0,07-0,09% и Sika® ViscoCrete®-1095 0,9% обеспечивает максимальный прирост прочности мелкозернистой матрицы: до 64,1-65,6 МПа после 28 суток нормального твердения.

4. Рациональный интервал AS 0,07-0,09% принят как основа для последующего получения неавтоклавного пенобетона D400 с комплексной минерально-химической модификацией.

Список литературы

- [1]. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. – М.: Стройиздат, 1980. – 399 с.
- [2]. Афанасьев Н.Ф., Целуйко М.К. Добавки в бетоны и растворы. – Киев: Будивэльник, 1989. – 128 с.
- [3]. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
- [4]. Шахова Л.Д., Черноситова Е.С. Ускорение твердения пенобетонов // Строительные материалы. – 2005. – №5. – С. 3–7.
- [5]. Жабин Д.В., Соков В.Н. Свойства пенобетона в наших руках // Технологии интеллектуального строительства. – 2014. – Вып. 1. – С. 58–62.
- [6]. Ramachandran V.S. Concrete Admixtures Handbook. – 2nd ed. New Jersey: Noyes Publications, 1995. 1183 p.
- [7]. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. – 4th ed. – New York: McGraw-Hill, 2014. – 675 p.
- [8]. Ўзбекистон Республикаси Қурилиш ва уй-жой коммунал хўжалиги вазирлиги. Қурилиш материаллари ва энергия самарадор бинолар бўйича меъерий-услугий хужжатлар. – Тошкент.

КОМПЛЕКСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЫ И ПОВЕРХНОСТИ ВСПУЧЕННОГО ВЕРМИКУЛИТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-КОНСТРУКЦИОННЫХ БЛОКОВ

Ж.А. Тургаев^{1*}, Н.К. Тахиржанов²

¹Каракалпакский государственный университет

²Ташкентский государственный транспортный университет

* Автор для корреспонденции, e-mail: jambulturgaev46@gmail.com

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация. Рассмотрены технологические и структурные предпосылки повышения прочности теплоизоляционно-конструкционных блоков на основе вспученного вермикулита без существенного увеличения расхода цемента. Научная идея работы заключается в комплексной модификации системы «цементная матрица — вермикулитовый заполнитель», включающей введение микрокремнезёма, золы-уноса и суперпластификатора в состав вяжущего, а также последовательную обработку поверхности вермикулита раствором NaOH, жидким стеклом и гидрофобизатором ГКЖ-11. Показано, что повышение прочности определяется не только уплотнением цементного камня и образованием дополнительных гидросиликатных фаз, но и состоянием межфазной переходной зоны. По результатам анализа составов, рентгенофазовых данных и микроструктурных изображений обосновано, что комплексная обработка снижает открытую пористость поверхности заполнителя, повышает адгезию и формирует более устойчивый контакт «заполнитель — цементный камень». Предложенный подход обеспечивает рациональное сочетание низкой плотности, теплоизоляционной эффективности и повышенной эксплуатационной надёжности вермикулитовых блоков.

Ключевые слова: вспученный вермикулит; теплоизоляционно-конструкционные блоки; цементная матрица; микрокремнезём; зола-уноса; суперпластификатор; межфазная переходная зона; гидрофобизация; C–S–H-гель.

Annotatsiya. Mazkur ishda sement sarfini sezilarli darajada oshirmagan holda ko'pchitilgan vermikulit asosidagi issiqlik izolyatsion-konstruktiv bloklarning mustahkamligini oshirishga xizmat qiluvchi texnologik va strukturaviy omillar ko'rib chiqilgan. Tadqiqotning ilmiy g'oyasi "sement matritsasi — vermikulit to'ldirgichi" tizimini kompleks modifikatsiyalashdan iborat bo'lib, bunda bog'lovchi tarkibiga mikrokremnezyom, uchuvchi kul va superplastifikator kiritish, shuningdek, vermikulit yuzasini ketma-ket ravishda NaOH eritmasi, suyuq shisha va GKJ-11 gidrofobizatori bilan ishlov berish nazarda tutilgan. Ko'rsatilishicha, mustahkamlikning ortishi faqat sement toshining zichlashuvi va qo'shimcha gidrosilikat fazalarning hosil bo'lishi bilan emas, balki fazalararo o'tish zonasining holati bilan ham belgilanadi. Tarkiblar tahlili, rentgen-fazaviy ma'lumotlar va mikrostrukturaviy tasvirlar natijasida kompleks ishlov berish to'ldirgich yuzasining ochiq g'ovakligini kamaytirishi, adgeziyani kuchaytirishi hamda "to'ldirgich — sement toshi" chegarasida barqarorroq kontakt hosil qilishi asoslab berilgan. Taklif etilgan yondashuv vermikulitli bloklarda past zichlik, issiqlik izolyatsion samaradorlik va yuqori ekspluatatsion ishonchlilikning oqilona uyg'unligini ta'minlaydi.

Kalit so'zlar: ko'pchitilgan vermikulit; issiqlik izolyatsion-konstruktiv bloklar; sement matritsasi; mikrokremnezyom; uchuvchi kul; superplastifikator; fazalararo o'tish zonasi; gidrofobizatsiya; C–S–H-gel.

Abstract. This paper examines the technological and structural prerequisites for increasing the strength of thermal-insulating structural blocks based on expanded vermiculite without a significant increase in cement consumption. The scientific concept of the study is based on the complex modification of the "cement matrix — vermiculite aggregate" system, involving the incorporation of silica fume, fly ash, and a superplasticizer into the binder composition, as well as the sequential treatment of the vermiculite surface with a NaOH solution, liquid glass, and the GKZh-11 water-repellent agent. It is shown that the increase in strength is determined not only by the densification of the cement stone and the formation of additional calcium silicate hydrate phases, but also by the condition of the interfacial transition zone. Based on the analysis of mix compositions, X-ray phase data, and microstructural images, it is substantiated that the complex treatment reduces the open porosity of the aggregate surface, improves adhesion, and forms a more stable "aggregate — cement stone" contact. The proposed approach ensures a rational combination of low density, thermal-insulating efficiency, and enhanced service reliability of vermiculite blocks.

Keywords: expanded vermiculite; thermal-insulating structural blocks; cement matrix; silica fume; fly ash; superplasticizer; interfacial transition zone; hydrophobization; C–S–H gel.

Введение

Вспученный вермикулит является эффективным легким пористым заполнителем для получения теплоизоляционно-конструкционных материалов, поскольку характеризуется малой насыпной плотностью и развитой поровой структурой. Вместе с тем высокая открытая пористость и водопоглощение зерен могут снижать прочность цементных композитов за счет локального перераспределения воды, роста капиллярной пористости и ослабления контакта на границе раздела фаз [1, 4]. Поэтому повышение прочности вермикулитовых блоков целесообразно рассматривать не как результат простого увеличения расхода цемента, а как

задачу направленного формирования плотной цементной матрицы и стабильной межфазной переходной зоны.

Методологическая основа исследования включает два взаимосвязанных направления. Первое направление предусматривает модификацию цементного вяжущего микрокремнезёмом, золой-уноса и суперпластификатором, что обеспечивает снижение водоцементного отношения, микрофиллерное уплотнение и развитие дополнительных гидратных фаз. Второе направление связано с химической подготовкой поверхности вспученного вермикулита, направленной на уменьшение открытых дефектов, повышение гидрофобности и улучшение адгезионного взаимодействия с цементным камнем [2, 3].

Физико-механические характеристики вермикулитовых блоков определяются совокупным влиянием качества цементной матрицы и состояния контактной зоны между цементным камнем и зёрнами заполнителя. При повышенной пористости матрицы и недостаточном сцеплении поверхности вермикулита с гидратными продуктами цемента нагрузка передается неравномерно, что способствует развитию микротрещин и преждевременному разрушению композита.

Наиболее чувствительным элементом структуры является межфазная переходная зона. В ней концентрируются капиллярные поры, локальные пустоты и дефекты сцепления, которые формируют потенциальные пути разрушения. Следовательно, повышение прочности и долговечности материала должно обеспечиваться одновременным уплотнением цементного камня и функционализацией поверхности вермикулитового заполнителя.

Материалы и методы исследования

Для обоснования оптимального состава многокомпонентного вяжущего проанализировано влияние минеральных и химических добавок на прочность цементной системы. Микрокремнезём рассматривался как высокодисперсный активный компонент, способный заполнять микропоры и вступать в пуццолановое взаимодействие с гидроксидом кальция с образованием дополнительного C–S–H-геля. Зола-уноса использовалась как тонкодисперсный минеральный наполнитель с частичной пуццолановой активностью, а суперпластификатор — как компонент, снижающий водопотребность смеси и повышающий плотность цементного камня [5–7].

Результаты и обсуждение

Таблица

Составы для определения оптимальных значений многокомпонентного вяжущего

Tarkib	Цемент	МК	СП	Зола-уноса	В/Ц	Рсж, 28 сут., МПа
Цемент	400				0,410	45,3
МК 4 %	384	16			0,400	47,7
МК 6 %	376	24			0,395	49,2
МК 8 %	368	32			0,390	51,5
Зола 6 %	376			24	0,387	46,4
Зола 8 %	368			32	0,380	47,0
Зола 10 %	360			40	0,373	47,5
СП 0,5 %	400		2		0,395	46,5
СП 1,0 %	400		4		0,382	48,6
СП 1,5 %	400		6		0,372	49,2

Данные таблицы 3.1 свидетельствуют, что введение модифицирующих добавок изменяет прочность цементной системы в зависимости от их природы и дозировки. В контрольном составе без добавок прочность составляет 45,3 МПа. При использовании микрокремнезёма наблюдается последовательное повышение прочности, что объясняется сочетанием

микрофиллерного эффекта и пуццолановой реакции, в результате которой часть свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ преобразуется в дополнительные низкоосновные гидросиликаты кальция.

Применение золы-уноса также обеспечивает прирост прочности, однако выраженность эффекта ниже по сравнению с микрокремнезёмом, что связано с меньшей реакционной активностью в ранние сроки твердения. Суперпластификатор повышает эффективность цементной системы за счет диспергирования частиц цемента и снижения В/Ц, вследствие чего уменьшается капиллярная пористость. Полученные результаты показывают, что наибольший структурный эффект ожидается при рациональном сочетании минеральных добавок и химического пластифицирования.

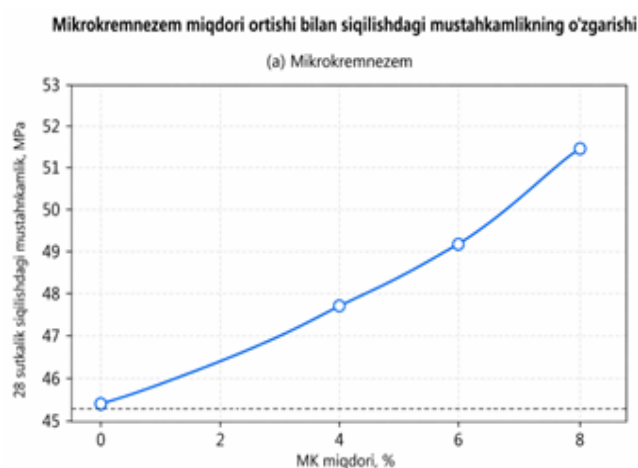


Рис. 3.1. Прочность от количества микрокремнезёма

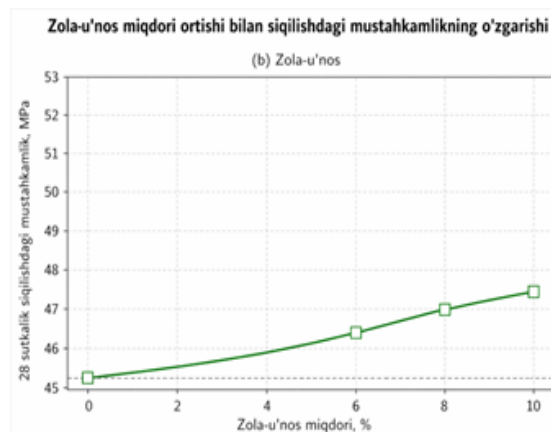


Рис. 3.2. Прочность от количества золы-уноса

Сопоставление рисунков 3.1 и 3.2 показывает, что микрокремнезём обеспечивает более интенсивный прирост прочности по сравнению с золой-уноса. Такая зависимость обусловлена более высокой удельной поверхностью микрокремнезёма и его способностью ускорять формирование дополнительного С–S–Н-геля. Зола-уноса преимущественно улучшает гранулометрическую упаковку и вносит вклад в позднее пуццолановое твердение. Следовательно, микрокремнезём может рассматриваться как основной активный модификатор цементной матрицы, а зола-уноса — как дополнительный компонент, повышающий плотность и технологичность вяжущей системы.

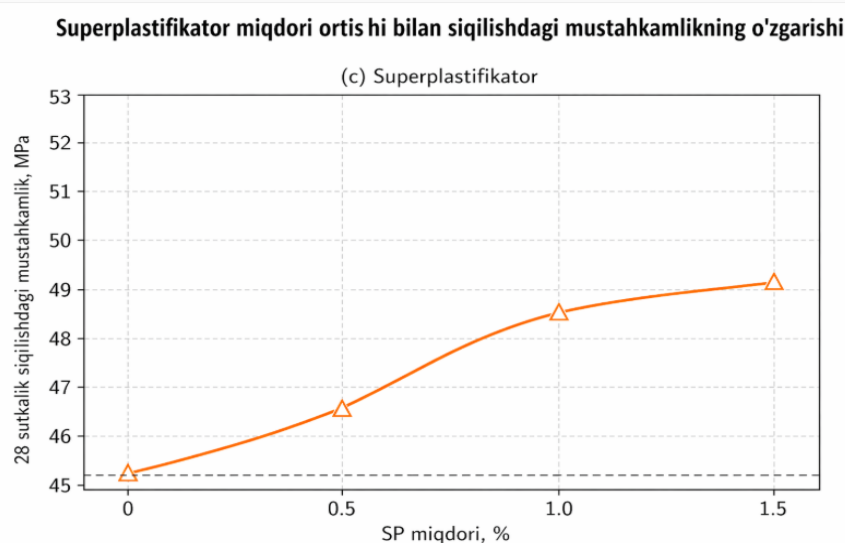


Рис. 3.3. Прочность от количества суперпластификатора.

На рисунке 3.3 представлена зависимость прочности от дозировки суперпластификатора. Введение добавки позволяет снизить водоцементное отношение при сохранении удобоукладываемости, что особенно важно для легких композитов с пористым заполнителем. При избытке воды возрастает объем капиллярных пор и ухудшается адгезия в межфазной зоне; поэтому структурный эффект суперпластификатора связан не только с технологическим улучшением смеси, но и с формированием более плотной цементной матрицы.

Для подтверждения механизма повышения прочности проведен анализ рентгенофазовых и микроструктурных данных цементного вяжущего. Совместная интерпретация этих данных позволяет установить изменения фазового состава, степень уплотнения цементного камня и особенности формирования контактной зоны при введении микрокремнезёма, суперпластификатора и вермикулитового заполнителя [3, 8].

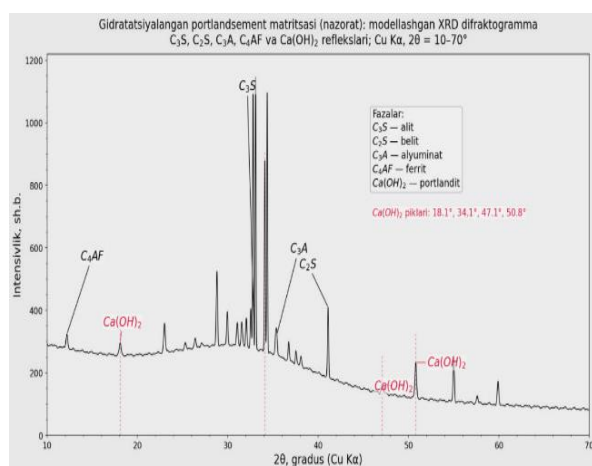


Рис. 3.4. Гидратированная цементная матрица

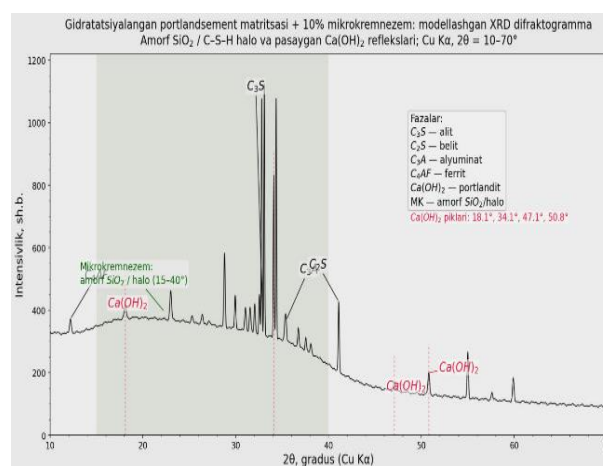


Рис. 3.5. Цемент + 10 % микрокремнезем

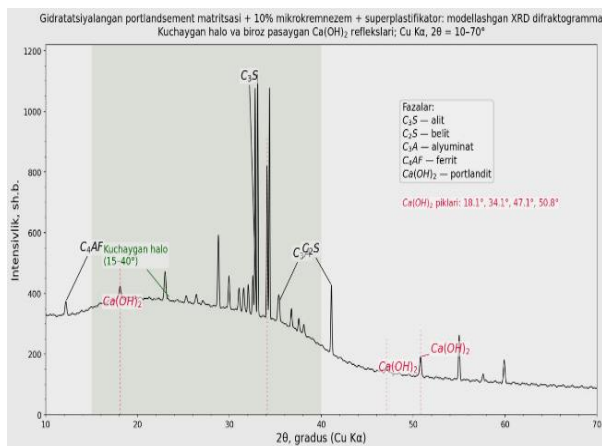


Рис. 3.6. Цемент + МК + суперпластификатор

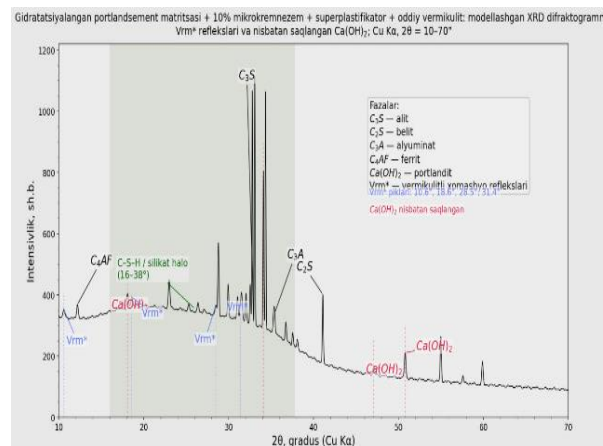


Рис. 3.7. Цемент + МК + СП + обычный вермикулит

Рисунки 3.4–3.6 показывают, что модификация цементной матрицы микрокремнезёмом и суперпластификатором сопровождается снижением относительного содержания свободного Ca(OH)_2 , увеличением доли слабо кристаллизованных гидросиликатных фаз и более равномерным распределением продуктов гидратации. Однако рисунок 3.7 фиксирует сохранение недостаточно плотной контактной зоны при использовании немодифицированного вспученного вермикулита. Это подтверждает необходимость перехода от простой модификации вяжущего к комплексному воздействию на всю систему «матрица — заполнитель».

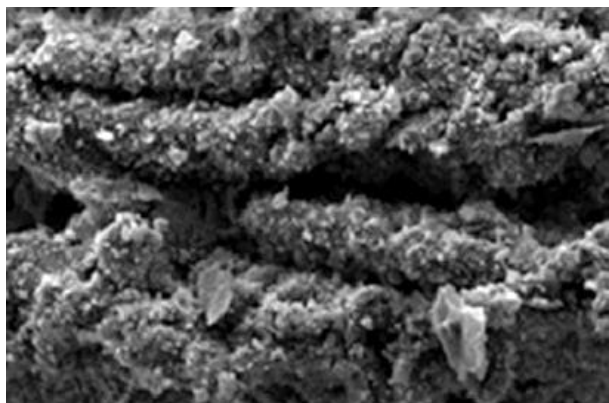


Рис. 3.8. Цементный камень

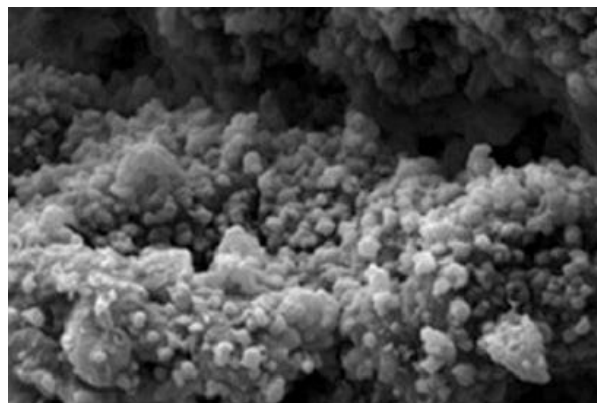


Рис. 3.9. Цемент + микрокремнезем

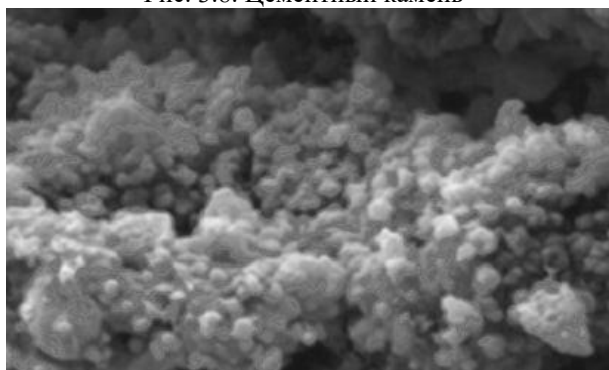


Рис. 3.10. Цемент + МК + СП

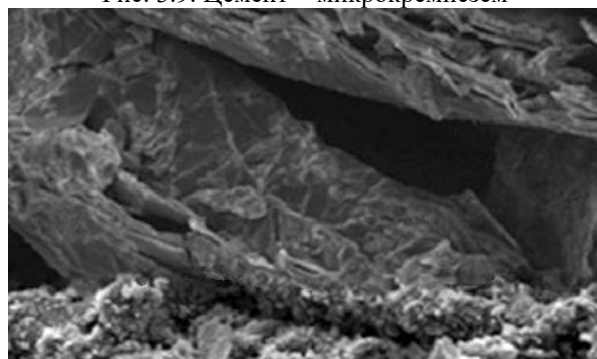


Рис. 3.11. Цемент + МК + СП + обычный вермикулит

Микроструктурные изображения 3.8–3.10 подтверждают, что последовательное введение микрокремнезёма и суперпластификатора уменьшает количество крупных капиллярных пор и повышает однородность цементного камня. Вместе с тем рисунок 3.11 показывает, что при контакте с необработанным вермикулитом сохраняются участки разрыхления и неполного сцепления. Следовательно, уплотнение цементной матрицы является необходимым, но недостаточным условием повышения прочности вермикулитового легкого бетона.

Модификация поверхности вспученного вермикулита выполнялась по технологической



Рис. 3.12. Схема модификации поверхности.

схеме, приведенной на рис. 3.12. Цель обработки заключалась в снижении открытой пористости, уменьшении водопоглощения, повышении поверхностной активности и формировании более плотной межфазной переходной зоны с цементным камнем.

Схема на рис. 3.12 отражает последовательность комплексной обработки заполнителя. На первом этапе проводится щелочная активация раствором NaOH, повышающая реакционную способность и шероховатость поверхности. На втором этапе обработка жидким стеклом формирует тонкий силикатный слой и частично перекрывает открытые поры. На завершающем этапе гидрофобизатор ГКЖ-11 снижает капиллярное водопоглощение и стабилизирует поверхность. Последовательное применение этих операций обеспечивает синергетический эффект, поскольку каждая стадия компенсирует ограничения предыдущей.

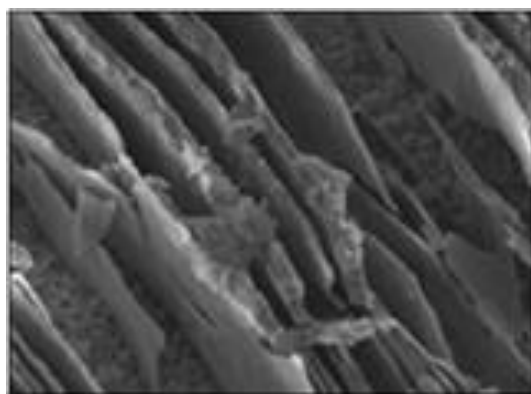
Таблица

Морфологические признаки поверхности вермикулита после модификации

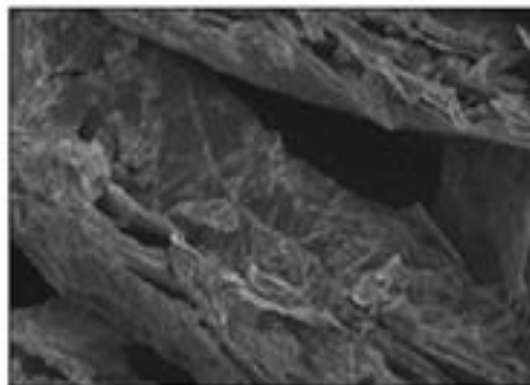
Метод	Состояние поверхности	Открытые поры, мкм	Адгезия	Гидрофобность
Без обработки	Слоистая, рыхлая, открытые дефекты	15–25	Низкий	Отсутствует
NaOH	Активированная, шероховатая	10–15	Средний	Слабая
Жидкое стекло	Уплотненная, силикатная пленка	7–10	Средний	Средняя
ГКЖ-11	Более гладкая, водоотталкивающая	6–8	Средне-высокий	Высокая
Комплексная	Уплотненная, микропленочная	3–5	Высокий	Высокая

Данные таблицы 3.2 подтверждают, что способ обработки существенно влияет на морфологическое состояние поверхности вермикулита. Исходный заполнитель характеризуется рыхлой слоистой структурой и открытыми дефектами размером 15–25 мкм, что создает условия для повышенного водопоглощения и слабой адгезии с цементной матрицей.

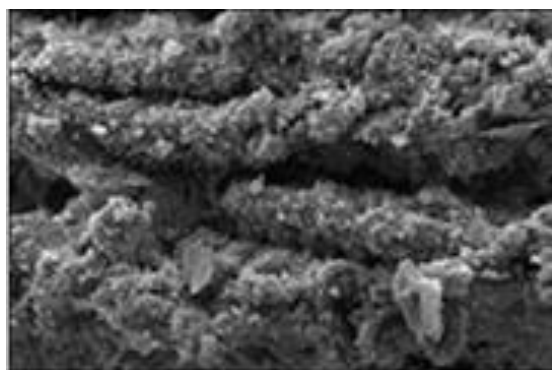
После обработки NaOH размер открытых пор уменьшается до 10–15 мкм, а поверхность приобретает более развитый микрорельеф, способствующий механическому зацеплению. Обработка жидким стеклом снижает размер пор до 7–10 мкм за счет образования силикатной пленки. ГКЖ-11 повышает гидрофобность и уменьшает капиллярный подсос воды. Наиболее выраженный эффект отмечается при комплексной обработке, когда открытые поры сокращаются до 3–5 мкм, а поверхность становится плотной, микропленочной и более пригодной для формирования прочной контактной зоны.



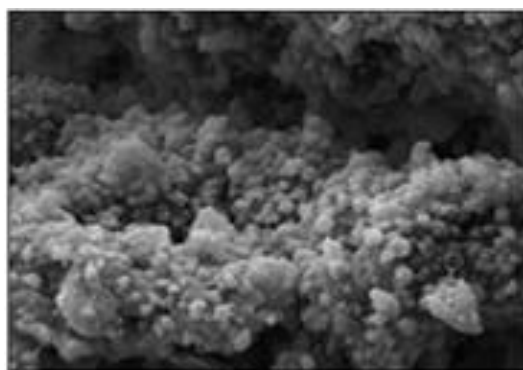
а) Без обработки



б) NaOH



в) Жидкое стекло / ГКЖ-11



г) Комплексная обработка

Рисунок 3.13. Фрагменты поверхности вспученного вермикулита: а — без обработки; б — после NaOH; в — после силикатно-гидрофобной обработки; г — после комплексной обработки

Рисунок 3.13 визуально подтверждает морфологические изменения, отраженные в таблице 3.2. У исходного вермикулита наблюдаются раскрытые поры, трещины и слабосвязанные слоистые участки. Щелочная активация повышает шероховатость поверхности, силикатно-гидрофобная обработка частично перекрывает открытые дефекты, а комплексная обработка формирует более плотный и стабильный поверхностный слой.

Таблица

Характеристика межфазной переходной зоны

Вариант	Межфазная зона	Пористость	Гидратные фазы	Следствие
Без обработки	Прослойка до 40 мкм, разделение фаз	Высокая	Слабо развиты	Низкая адгезия
NaOH	Частично уплотненный контакт	Снижена	Локальное зарастание	Частичный рост
Жидкое стекло	Ровный пленочный интерфейс	Частично перекрыта	Силикатная пленка	Умеренное улучшение
ГКЖ-11	Стабилизированная зона	Капиллярность снижена	Удерживаются лучше	Устойчивая структура
Комплексная	Сплошная плотная зона без пустот	Минимальная	C-S-H мостики	Долговечность

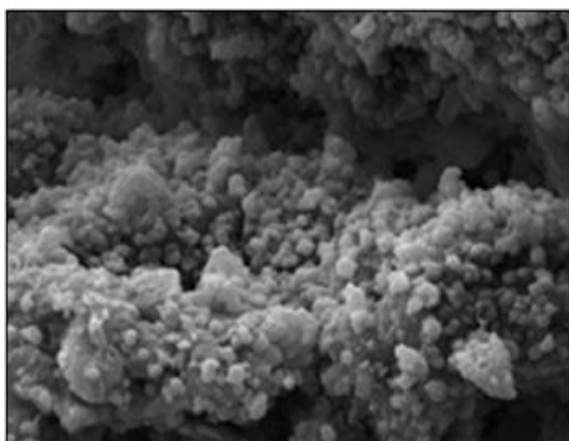


Рис. 3.14. Модифицированный вермикулит

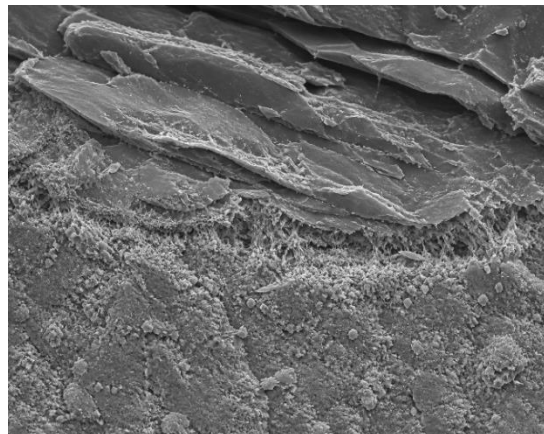


Рис. 3.15. КМВ + модифицированный вермикулит

Микроструктурный анализ рисунков 3.14 и 3.15 показывает, что химическая обработка вермикулита приводит к уплотнению поверхности, частичному перекрытию открытых дефектов и повышению устойчивости контактной зоны. Совместное использование модифицированного вермикулита и уплотненной цементной матрицы обеспечивает более эффективную передачу нагрузки от матрицы к заполнителю, снижает вероятность разрушения по границе раздела фаз и повышает эксплуатационную надежность композита.

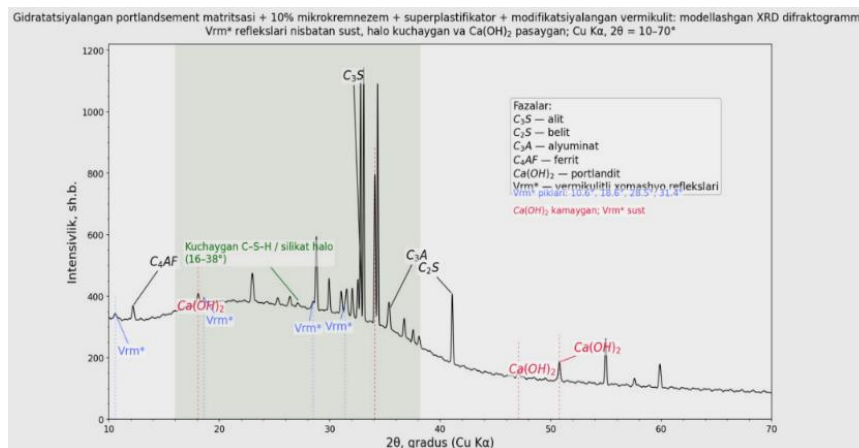


Рисунок 3.16. КМВ + модифицированный вермикулит.

Рисунок 3.16 подтверждает влияние комплексной модификации на фазовый состав и структуру композита. После обработки вермикулита и применения модифицированного вяжущего уменьшается доля свободного Ca(OH)_2 , усиливается формирование С–S–Н- и С–А–S–Н-фаз, а межфазная переходная зона приобретает более плотный характер. Основной структурный эффект заключается не в образовании крупных кристаллических новообразований, а в увеличении количества слабокристаллических гидратных фаз, которые уплотняют цементный камень и повышают адгезию с вермикулитовым заполнителем.

Выводы

1. Установлено, что повышение прочности теплоизоляционно-конструкционных блоков на основе вспученного вермикулита должно основываться на комплексном управлении структурой цементной матрицы и межфазной переходной зоны. Одностороннее увеличение расхода цемента не является рациональным решением, поскольку может ухудшить технико-экономические показатели материала.
2. Модификация цементного вяжущего микрокремнезёмом, золой-уноса и суперпластификатором способствует снижению капиллярной пористости, повышению плотности цементного камня и развитию дополнительных гидросиликатных фаз. Наиболее выраженный вклад в прирост прочности вносит микрокремнезём, тогда как зола-уноса и суперпластификатор обеспечивают дополнительное уплотнение и технологическую стабильность смеси.
3. Комплексная обработка вермикулитового заполнителя по схеме $\text{NaOH} \rightarrow \text{жидкое стекло} \rightarrow \text{ГКЖ-11}$ уменьшает открытую пористость поверхности, повышает гидрофобность и усиливает адгезионное взаимодействие с цементной матрицей. Совмещение модифицированного вяжущего и обработанного заполнителя позволяет сохранить теплоизоляционные преимущества вермикулитовых блоков и одновременно повысить их прочность и долговечность.
4. Полученные результаты подтверждают, что предлагаемая технология может быть использована при разработке энергоэффективных легких стеновых материалов, в которых прочность обеспечивается не только составом вяжущего, но и целенаправленным управлением структурой поверхности пористого заполнителя.

Список литературы

- [1]. Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. London: Pearson Education, 2011. 872 p.

- [2]. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- [3]. Scrivener K., Snellings R., Lothenbach B. (eds.). A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- [4]. Assis Neto P.C., Raupp-Pereira F., Hotza D., Segadães A.M. Expanded Vermiculite: A Short Review about Its Production, Characteristics, and Effects on the Properties of Lightweight Mortars // Buildings. 2023. Vol. 13(3). Article 823.
- [5]. Koksall F., Gencel O., Kaya M. Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 88. P. 175–187.
- [6]. Mo K.H., Lee H.J., Liu M.Y.J., Ling T.-C. Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 179. P. 302–306.
- [7]. Bentz D.P., Jensen O.M., Coats A.M., Glasser F.P. Influence of silica fume on diffusivity in cement-based materials I. Experimental and computer modeling studies on cement pastes // Cement and Concrete Research. 2000. Vol. 30. P. 953–962.
- [8]. Lothenbach B., Scrivener K., Hooton R.D. Supplementary cementitious materials // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41(12). P. 1244–1256.
- [9]. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
- [10]. ГОСТ 12730.3-2020. Бетоны. Метод определения водопоглощения.
- [11]. ГОСТ 25820-2014. Бетоны легкие. Технические условия.
- [12]. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме.

CURING-REGIME DEPENDENT HYDRATION AND PORE-STRUCTURE REFINEMENT OF NON-AUTOCCLAVED D400 FOAM CONCRETE MODIFIED WITH GGBFS AND ACTIVATED NATURAL ZEOLITE

Kodirova Kh.

Karakalpak State University, Karakalpakstan, Uzbekistan

**Corresponding author, e-mail: khalidakadirova@gmail.com*

(Received on September 3rd, 2026)

Abstract. *This paper evaluates how curing regime influences hydration development, microstructural densification and performance balance in non-autoclaved D400 foam concrete modified with a GGBFS-type slag, activated natural zeolite and a metakaolin-gypsum component. Three compositions were compared: a control mix, a mix with 40% finely ground GGBFS, and an optimized composite-mineral system containing 30% GGBFS, 8% composite modifier and 0.07% AS accelerator. Samples were cured under normal curing (NC) and thermal-moist curing (TMC) regimes. The optimized composition exhibited the highest hydration degree (0.81 under NC and 0.86 under TMC), while crystallinity decreased to 16.2% and 14.9%, respectively, indicating a more amorphous and dense hydrate matrix. The same composition reached 4.57 MPa under NC and 3.35 MPa after TMC at 28 days, with thermal conductivity of 0.073-0.080 W/(m·C) and shrinkage reduced to 0.64-0.68 mm/m. The results show that the curing regime does not act independently; its effect is strongly controlled by the mineral composition of the binder and the ability of activated zeolite and GGBFS to stabilize the foam-matrix interface.*

Keywords: *D400 foam concrete; activated zeolite; GGBFS; thermal-moist curing; hydration degree; microstructure; shrinkage; thermal conductivity.*

Annotatsiya. *Mazkur maqolada GGBFS turidagi shlak, faollashtirilgan tabiiy zeolit hamda metakaolin-gipsli komponent bilan modifikatsiyalangan avtoklavsiz D400 ko'pikbetonda parvarishlash rejimining gidratatsiya jarayoni rivojlanishi, mikrostrukturaning zichlashuvi va ekspluatatsion xossalarning muvozanatiga ta'siri baholangan. Uch xil tarkib o'zaro taqqoslangan: nazorat tarkibi, 40% mayda tuyilgan GGBFS qo'shilgan tarkib hamda 30% GGBFS, 8% kompozit modifikator va 0,07% AS tezlatkichdan iborat optimallashtirilgan kompozit-mineral tizim. Namunalar normal parvarishlash (NC) va issiqlik-namlik bilan parvarishlash (TMC) rejimlarida qotirilgan. Optimallashtirilgan tarkib eng yuqori gidratatsiya darajasini namoyon etgan: NC*

sharoitida 0,81 va TMC sharoitida 0,86. Shu bilan birga kristallik darajasi mos ravishda 16,2% va 14,9% gacha kamaygan, bu esa gidrat mahsulotlari matritsasining ko'proq amorf va zich tuzilishga ega bo'lganini ko'rsatadi. Aynan ushbu tarkib 28 sutkada NC sharoitida 4,57 MPa, TMC dan keyin esa 3,35 MPa siqilishdagi mustahkamlikka erishgan. Uning issiqlik o'tkazuvchanligi 0,073–0,080 W/(m·°C) oralig'ida bo'lib, kirishish deformatsiyasi 0,64–0,68 mm/m gacha kamaygan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, parvarishlash rejimi mustaqil omil sifatida emas, balki bog'lovchining mineral tarkibi hamda faollashtirilgan zeolit va GGBFS ning ko'pik-matritsa chegarasini barqarorlashtirish qobiliyati bilan chambarchas bog'liq holda ta'sir ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: D400 ko'pikbeton; faollashtirilgan zeolit; GGBFS; issiqlik-namlik bilan parvarishlash; gidratatsiya darajasi; mikrostruktura; kirishish; issiqlik o'tkazuvchanlik.

Аннотация. В статье оценивается влияние режима твердения на развитие гидратации, уплотнение микроструктуры и баланс эксплуатационных свойств неавтоклавного пенобетона D400, модифицированного шлаком типа GGBFS, активированным природным цеолитом и метакеолин-гипсовым компонентом. Сравнивались три состава: контрольная смесь, состав с 40% тонкомолотого GGBFS и оптимизированная композиционно-минеральная система, содержащая 30% GGBFS, 8% композиционного модификатора и 0,07% ускорителя AS. Образцы твердели в условиях нормального твердения (NC) и тепловлажностной обработки (TMC). Оптимизированный состав показал наибольшую степень гидратации: 0,81 при NC и 0,86 при TMC. При этом степень кристалличности снизилась соответственно до 16,2% и 14,9%, что свидетельствует о формировании более аморфной и плотной матрицы гидратных новообразований. Этот же состав в возрасте 28 суток достиг прочности при сжатии 4,57 МПа при NC и 3,35 МПа после TMC, при коэффициенте теплопроводности 0,073–0,080 Вт/(м·°C) и снижении усадки до 0,64–0,68 мм/м. Полученные результаты показывают, что режим твердения не действует как самостоятельный фактор; его влияние в значительной степени определяется минеральным составом вяжущего и способностью активированного цеолита и GGBFS стабилизировать границу раздела «пена — матрица».

Ключевые слова: пенобетон D400; активированный цеолит; GGBFS; тепловлажностная обработка; степень гидратации; микроструктура; усадка; теплопроводность.

Introduction

Non-autoclaved foam concrete is attractive for energy-efficient building envelopes because it combines low density and low thermal conductivity with a relatively simple manufacturing process. However, its practical performance depends on the stability of the cementitious matrix formed around air pores. Insufficient hydration, an open capillary network and unstable inter-pore walls lead to excessive water absorption, shrinkage and strength scatter. Therefore, the curing regime and mineral composition of the binder must be considered as interacting factors rather than independent processing variables.

Thermal-moist curing can accelerate early hydration, but in low-density foam concrete it may also intensify moisture redistribution and alter the balance between crystalline and poorly crystalline hydrate phases. Activated natural zeolite and finely ground GGBFS can modify this response. The zeolite provides aluminosilicate reactive sites and adsorption capacity, while GGBFS contributes latent hydraulic reactivity and microfiller action. When these components are combined with a metakaolin-gypsum modifier, AS accelerator and Sika® ViscoCrete®-1095, the matrix can be densified without sacrificing the target D400 density range.

The aim of this study is to compare the effect of normal curing and thermal-moist curing on hydration degree, crystallinity, strength, thermal conductivity, shrinkage and moisture stability of modified D400 foam concrete. The analysis emphasizes the relationship between curing regime, phase formation and performance indicators.

Materials and methods

The experimental system was based on CEM I 42.5 N Portland cement, local quartz sand, a finely ground GGBFS-type slag, activated natural zeolite, a metakaolin-gypsum component, Sika® ViscoCrete®-1095 superplasticizer, AS accelerator and a synthetic foam-forming agent. The target dry-density class was D400. Three compositions were selected for detailed comparison: (1) control composition, (2) 40% GGBFS composition and (8) optimized composite-mineral composition with 30% GGBFS, 8% composite modifier and 0.07% AS accelerator.

Foam concrete mixtures were prepared by first homogenizing dry mineral components, then adding mixing water containing dispersed chemical admixtures, and finally introducing pre-generated foam at low mixing intensity to avoid bubble destruction. The specimens were demolded after initial curing and then subjected either to normal curing (NC, 20+/-2 °C and high relative humidity) or thermal-moist curing (TMC). The properties measured after curing included degree of hydration, crystallinity, compressive strength, thermal conductivity, shrinkage deformation, water absorption and softening coefficient. SEM observation was used to support the interpretation of pore-wall compactness and matrix morphology.

Table 1

Selected D400 foam concrete compositions used for curing-regime comparison

Composition	Mineral modification	W/S ratio	Average density, kg/m ³	Role in comparison
1	Control composition	0.39	398	Reference matrix without mineral optimization
2	GGBFS – 40%; Sika® ViscoCrete®-1095 – 0.6%	0.37	384	Slag microfiller and latent hydraulic effect
8	GGBFS – 30%; composite modifier – 8%; AS – 0.07%	0.32	381	Optimized dense matrix and stabilized pore walls

Table 2

Hydration and crystallinity after 28 days

Composition	Hydration degree NC	Hydration degree TMC	Crystallinity NC, %	Crystallinity TMC, %
Control	0.55	0.58	22.8	21.1
GGBFS-40	0.68	0.72	19.7	18.2
Optimal CM	0.81	0.86	16.2	14.9

Results

The degree of hydration increased systematically with mineral modification. The control composition showed 0.55 under NC and 0.58 under TMC. Incorporation of 40% GGBFS increased these values to 0.68 and 0.72. The optimized composition reached 0.81 under NC and 0.86 under TMC, demonstrating that thermal-moist curing was most effective when the matrix contained both a fine slag fraction and a reactive aluminosilicate-zeolite component.

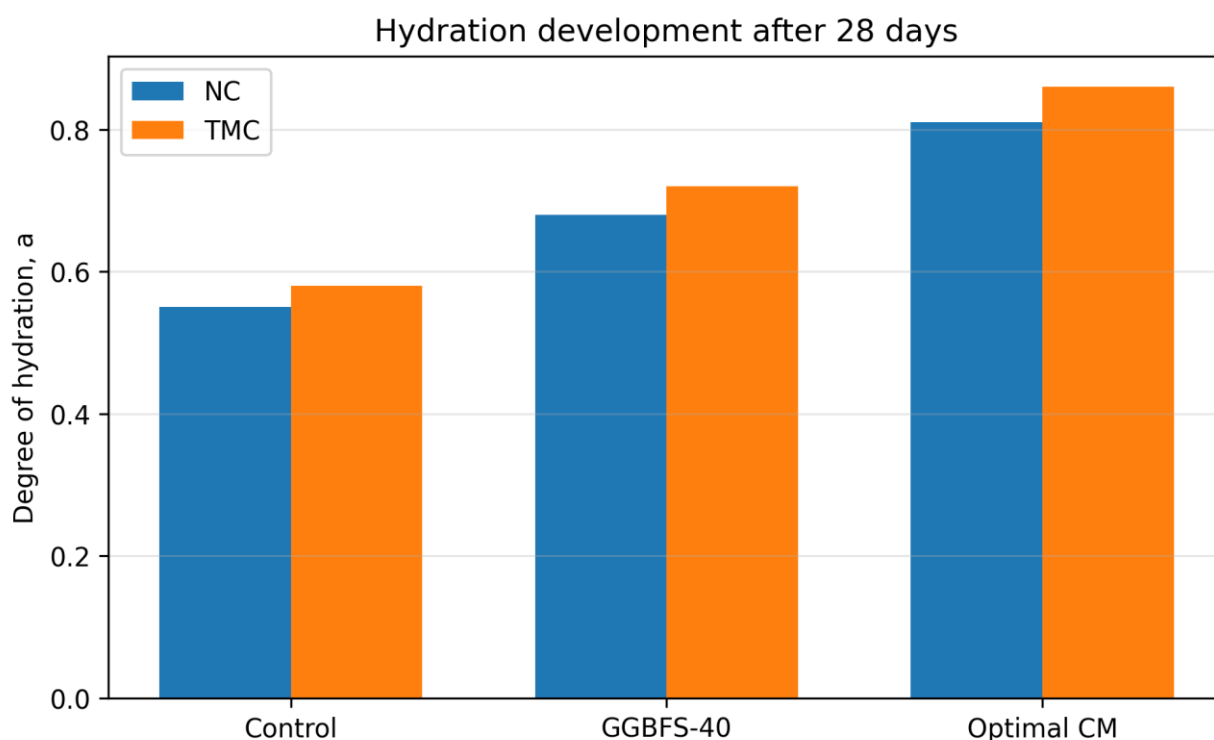


Figure 1 – Degree of hydration of D400 foam concrete after 28 days under NC and TMC.

The crystallinity index decreased as the modifier system became more complex. The optimized composition had crystallinity of 16.2% under NC and 14.9% under TMC, compared with 22.8% and 21.1% for the control. This trend indicates a shift toward a more poorly crystalline hydrate matrix, which is consistent with the presence of secondary C-S-H and aluminosilicate hydrates formed through pozzolanic and latent hydraulic reactions.

Table 3

Mechanical and thermo-physical response of selected compositions

Composition	R _c NC, MPa	R _c TMC, MPa	lambda NC, W/(m°C)	lambda TMC, W/(m°C)	Shrinkage NC, mm/m	Shrinkage TMC, mm/m
Control	2.21	1.58	0.109	0.110	2.54	2.99
GGBFS-40	3.84	2.05	0.072	0.085	1.01	2.60
Optimal CM	4.57	3.35	0.073	0.080	0.64	0.68

The performance indicators followed the same structural trend. The optimized composition attained the highest compressive strength under both curing regimes. Under NC, the strength was 4.57 MPa, which is more than double the control value. Under TMC, the strength reached 3.35 MPa. Thermal conductivity was maintained at a low level (0.073 W/(m°C) under NC and 0.080 W/(m°C) under TMC), while shrinkage dropped from 2.54-2.99 mm/m for the control to 0.64-0.68 mm/m for the optimized composition.

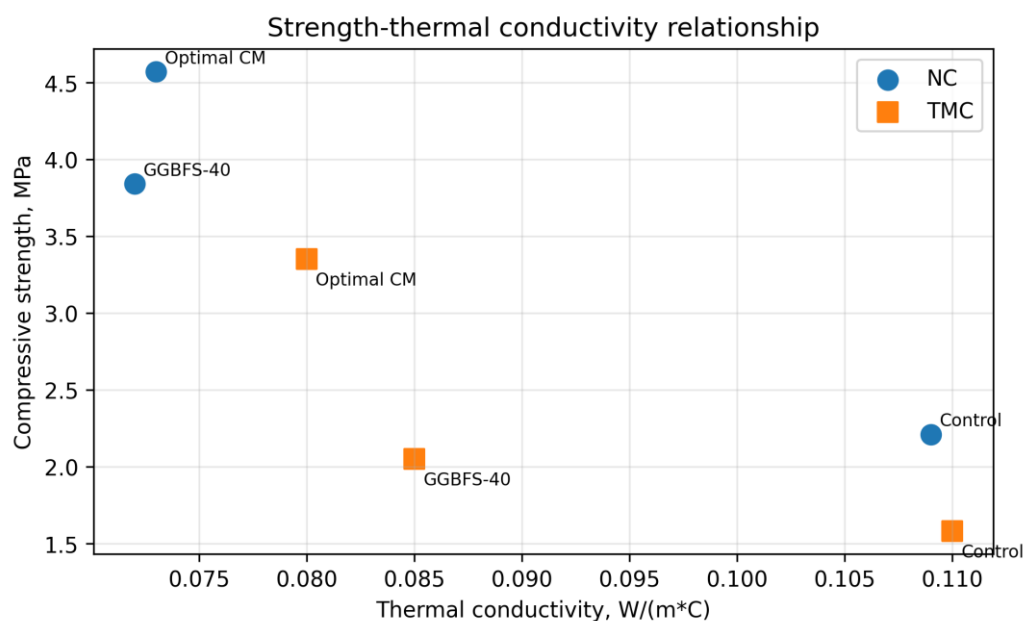


Figure 2. Relationship between compressive strength and thermal conductivity under different curing regimes.

Table 4.

Moisture-related indicators of selected compositions

Composition	Water absorption W_m , %	Softening coefficient	Moisture at 1 day, %	Moisture at 180 days, %
Control	53.2	0.65	45.1	10.7
GGBFS-40	25.6	0.75	22.7	3.2
Optimal CM	17.3	0.88	14.6	1.6

The moisture regime confirmed the densification effect. The water absorption of the optimized composition was 17.3%, while the control absorbed 53.2%. The softening coefficient increased from 0.65 to 0.88. Drying kinetics were also improved: after 180 days the residual moisture of the optimized foam concrete was 1.6%, whereas the control retained 10.7%.

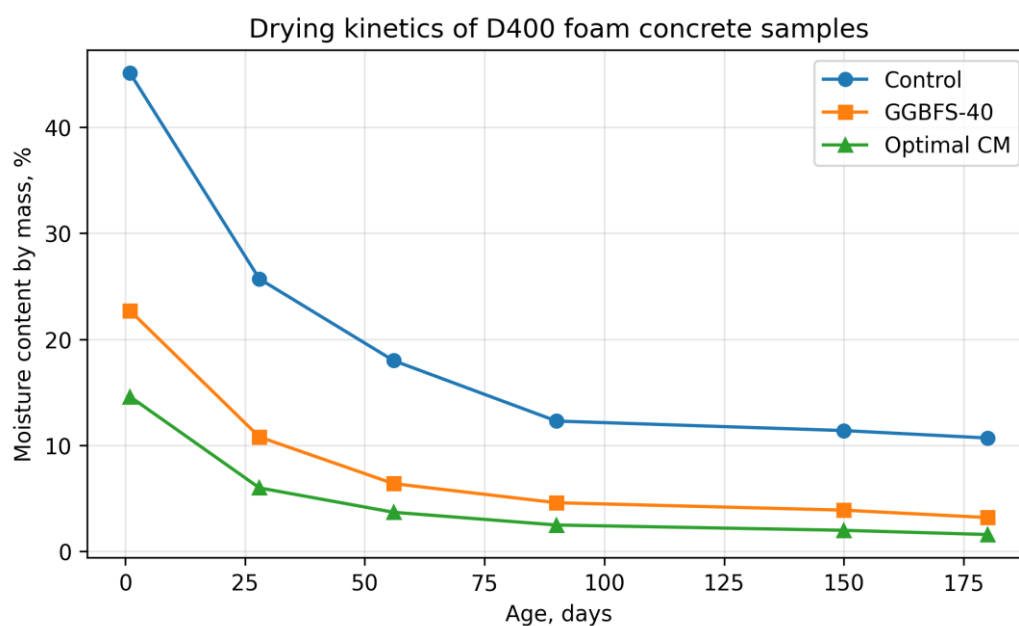


Figure 3. Drying kinetics of D400 foam concrete compositions.

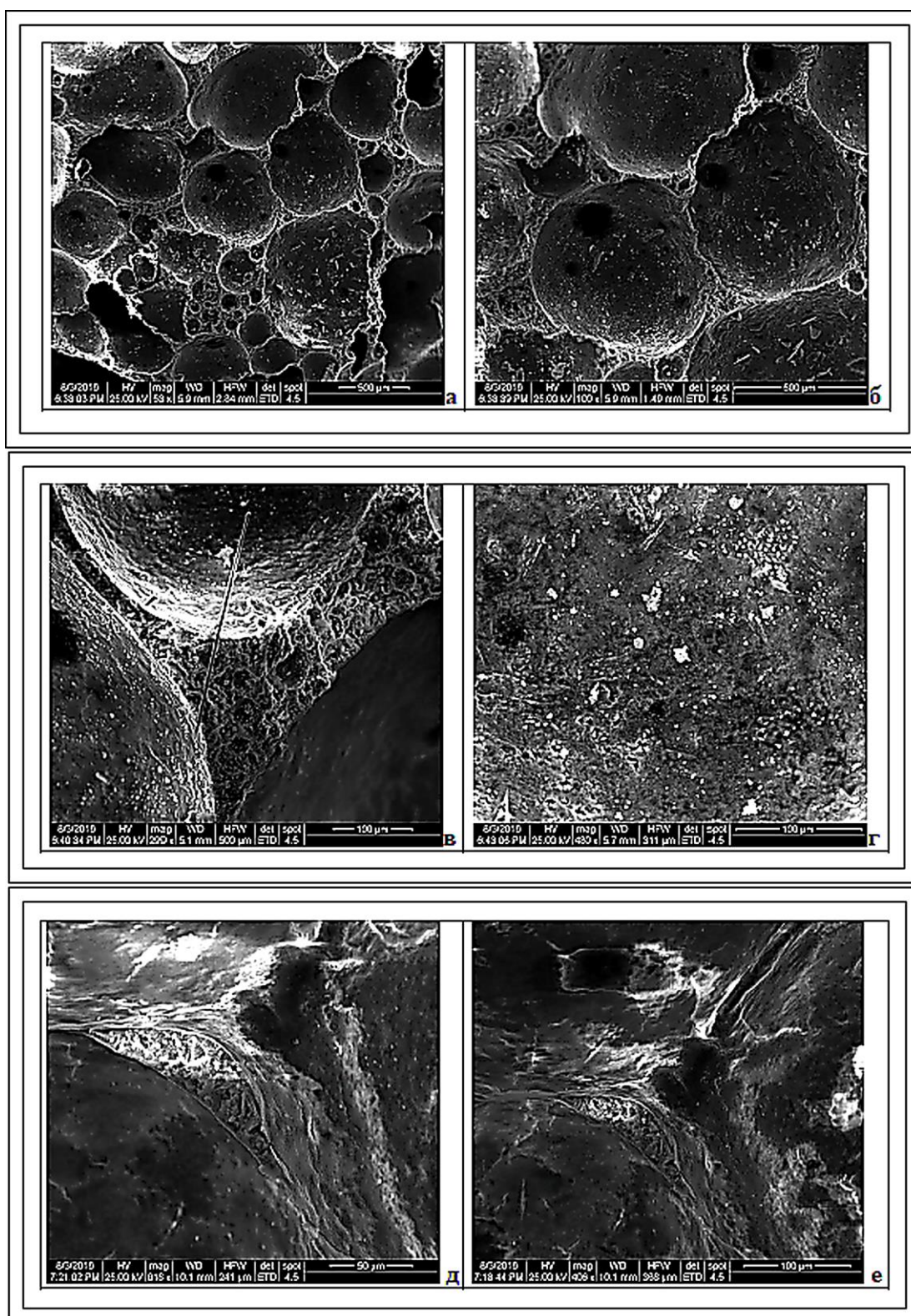


Figure 4. SEM morphology of the optimized D400 foam concrete matrix (composition 8, NC).

Discussion

The results demonstrate that curing regime cannot be evaluated separately from the mineral composition of the matrix. TMC accelerated hydration, but its effect on strength was not automatically superior to NC in every case. The control and GGBFS-only compositions showed lower TMC strengths than NC strengths, which may be related to moisture redistribution in a relatively open pore network. In contrast, the optimized composition retained a high level of

strength after TMC because the composite modifier reduced capillary continuity and stabilized inter-pore walls.

The decrease in crystallinity is not a negative result in this system. For foam concrete, a dense, continuous and partly amorphous hydrate matrix is preferable to a coarse crystalline structure that may create stress concentrators around pores. Activated zeolite likely contributes through two mechanisms: adsorption-assisted water redistribution and pozzolanic reaction with calcium hydroxide. GGBFS provides additional reactive calcium-aluminosilicate material and fills the space between cement particles. Together with the PCE superplasticizer and AS accelerator, these components create a matrix capable of maintaining low thermal conductivity while improving strength and shrinkage resistance.

Conclusion

1. The optimized D400 foam concrete composition containing 30% GGBFS, 8% composite modifier and 0.07% AS accelerator showed the highest degree of hydration: 0.81 under normal curing and 0.86 under thermal-moist curing.

2. Mineral modification reduced the crystallinity index from 22.8-21.1% for the control to 16.2-14.9% for the optimized composition, indicating the formation of a denser and less crystalline hydrate matrix.

3. The optimized composition combined high compressive strength (4.57 MPa under NC and 3.35 MPa under TMC) with low thermal conductivity (0.073-0.080 W/(m°C)) and reduced shrinkage (0.64-0.68 mm/m).

4. Activated natural zeolite and GGBFS improved moisture stability: water absorption decreased to 17.3%, and the softening coefficient increased to 0.88.

5. For non-autoclaved D400 foam concrete, thermal-moist curing is most effective when combined with a mineral system that stabilizes pore walls and limits capillary connectivity.

References

- [1]. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ustenko A.A. Technology of thermal insulation materials. Moscow: Stroyizdat, 1980.
- [2]. Gorchakov G.I., Bazhenov Yu.M. Building materials. Moscow: Stroyizdat, 1986.
- [3]. Afanasyev N.F., Tseluyko M.K. Admixtures in concretes and mortars. Kyiv: Budivelnik, 1989.
- [4]. Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. London: Pearson, 2011.
- [5]. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
- [6]. Ramachandran V.S. Concrete Admixtures Handbook. 2nd ed. New Jersey: Noyes Publications, 1995.
- [7]. Shi C., Krivenko P.V., Roy D. Alkali-Activated Cements and Concretes. London: Taylor & Francis, 2006.
- [8]. Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan. National construction standards and energy-efficient building requirements. Tashkent.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЕРМИКУЛИТБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ НА КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ

Ж.А. Тургаев^{1*}, Н.К. Тахиржанов²

¹Каракалпакский государственный университет

²Ташкентский государственный транспортный университет

* Автор для корреспонденции, e-mail: jambulturgaev46@gmail.com

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация. В статье рассматриваются технологические и технико-экономические основы производства мелких стеновых вермикулитбетонных блоков на композиционном вяжущем. Предложена последовательная схема комплексной модификации вспученного вермикулита, включающая щелочную обработку, сушку, обработку жидким стеклом, гидрофобизацию и термофиксацию. На основе экспериментальных и расчетных данных выполнена оценка влияния

микрокремнезема, водоцементного отношения и расхода вермикулита на прочность при сжатии и изгибе. Проведен расчет сырьевой стоимости вермикулитобетона и сравнительный анализ стоимости 1 м² стены из вермикулитобетона и газобетона. Показано, что применение модифицированного вермикулитобетона позволяет получить стеновой материал с достаточной прочностью, сниженным водопоглощением и экономическим эффектом за счет исключения дополнительных тепло- и гидроизоляционных слоев.

Ключевые слова: вермикулитобетон, композиционное вяжущее, вспученный вермикулит, микрокремнезем, суперпластификатор, полный факторный план, стеновые блоки, технологическая схема, сырьевая стоимость, экономическая эффективность.

Annotatsiya. Maqolada kompozitsion bog'lovchi asosida mayda devorbop vermikulitbeton bloklar ishlab chiqarishning texnologik hamda texnik-iqtisodiy asoslari ko'rib chiqilgan. Ko'pchitilgan vermikulitni kompleks modifikatsiyalashning ketma-ket texnologik sxemasi taklif etilgan bo'lib, u ishqoriy ishlov berish, quritish, suyuq shisha bilan ishlov berish, gidrofobizatsiya va termofiksatsiya bosqichlarini o'z ichiga oladi. Eksperimental va hisobiy ma'lumotlar asosida mikrokremsiyom, suv-sement nisbati hamda vermikulit sarfining siqilish va egilishdagi mustahkamlikka ta'siri baholangan. Vermikulitbetonning xomashyo tannarxi hisoblangan hamda vermikulitbeton va gazbetondan qurilgan 1 m² devor qiymati bo'yicha qiyosiy tahlil o'tkazilgan. Ko'rsatilishicha, modifikatsiyalangan vermikulitbetondan foydalanish yetarli mustahkamlikka, kamaytirilgan suv shimuvchanlikka hamda qo'shimcha issiqlik va gidroizolyatsiya qatlamlarini qo'llash zaruratini bartaraf etish hisobiga iqtisodiy samaradorlikka ega devorbop material olish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: vermikulitbeton; kompozitsion bog'lovchi; ko'pchitilgan vermikulit; mikrokremsiyom; superplastifikator; to'liq faktorli reja; devorbop bloklar; texnologik sxema; xomashyo tannarxi; iqtisodiy samaradorlik.

Abstract. The article examines the technological and techno-economic foundations for the production of small-sized vermiculite concrete wall blocks based on a composite binder. A sequential technological scheme for the complex modification of expanded vermiculite is proposed, including alkaline treatment, drying, treatment with liquid glass, hydrophobization, and thermal fixation. Based on experimental and calculated data, the effects of silica fume, the water-cement ratio, and vermiculite content on compressive and flexural strength are evaluated. The raw material cost of vermiculite concrete is calculated, and a comparative cost analysis of 1 m² of wall made of vermiculite concrete and aerated concrete is carried out. It is shown that the use of modified vermiculite concrete makes it possible to obtain a wall material with sufficient strength, reduced water absorption, and an economic benefit due to the elimination of additional thermal and waterproofing layers.

Keywords: vermiculite concrete; composite binder; expanded vermiculite; silica fume; superplasticizer; full factorial design; wall blocks; technological scheme; raw material cost; economic efficiency.

Введение

Развитие энергоэффективного строительства требует внедрения легких стеновых материалов, которые совмещают пониженную плотность, достаточную прочность, теплоизоляционную способность и эксплуатационную устойчивость. В этом отношении вермикулитобетон представляет практический интерес, поскольку вспученный вермикулит обладает развитой пористой структурой и низкой теплопроводностью [1, 2].

Вместе с тем высокая водопоглощающая способность вермикулита и слабая контактная зона между пористым заполнителем и цементной матрицей ограничивают прочностный потенциал материала. Поэтому повышение качества вермикулитобетона целесообразно связывать не только с увеличением расхода цемента, но и с комплексной модификацией заполнителя и вяжущей системы [3, 4].

Цель исследования состоит в разработке технологической схемы производства мелких стеновых вермикулитбетонных блоков на композиционном вяжущем и обосновании их технической и экономической эффективности.

Материалы и методы

Технологическая схема производства включает предварительную подготовку вспученного вермикулита: просеивание, щелочную обработку раствором NaOH, сушку, обработку жидким стеклом, гидрофобизацию и окончательную термофиксацию. После подготовки модифицированный вермикулит вводится в цементную систему с микрокремнеземом и

суперпластификатором. Такая последовательность снижает водопоглощение заполнителя и повышает плотность межфазной зоны [5].

Для оценки влияния состава применен полный факторный план 2^3 . В качестве основных факторов приняты расход микрокремнезема X1, водоцементное отношение X2 и расход вспученного вермикулита X3. Откликами служили прочность при сжатии и прочность при изгибе.

Таблица 1.

Исходные данные прочности вермикулитбетона

Состояние	Марка	Цемент	Песок	Вермик.	Вода	МК	СП	В/Ц	$\rho_{\text{сух}}$	R _{сж}	R _{изг}
Необработанный	D400	190.8	98.1	111.1	110.664	0	0	0.58	400	0.8	0.22
Необработанный	D500	233.2	164.11	102.69	128.26	0	0	0.55	500	1.6	0.35
Необработанный	D600	286.2	219.0	94.8	143.1	0	0	0.5	600	2.0	0.85
Модифицированный	D400	180.0	94.5	112.6	99.0	10.8	2.16	0.55	400	1.4	0.47
Модифицированный	D500	220.0	159.1	105.1	110.0	13.2	2.64	0.5	500	2.1	0.73
Модифицированный	D600	270.0	212.9	97.6	121.5	16.2	3.24	0.45	600	2.5	1.04

Сравнение исходных составов показывает, что модификация вяжущего и обработка вермикулита повышают прочность во всех марках плотности. Для D400 прочность при сжатии возрастает с 0,80 до 1,40 МПа, для D500 - с 1,60 до 2,10 МПа, для D600 - с 2,00 до 2,50 МПа.

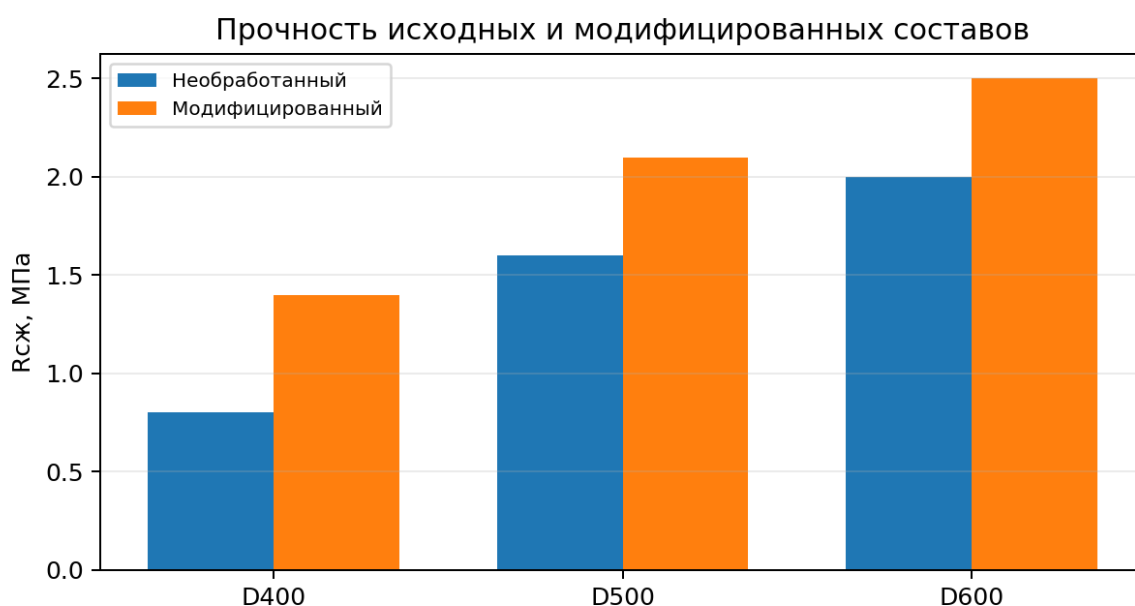


Рисунок 1 - Изменение прочности при сжатии вермикулитбетона.

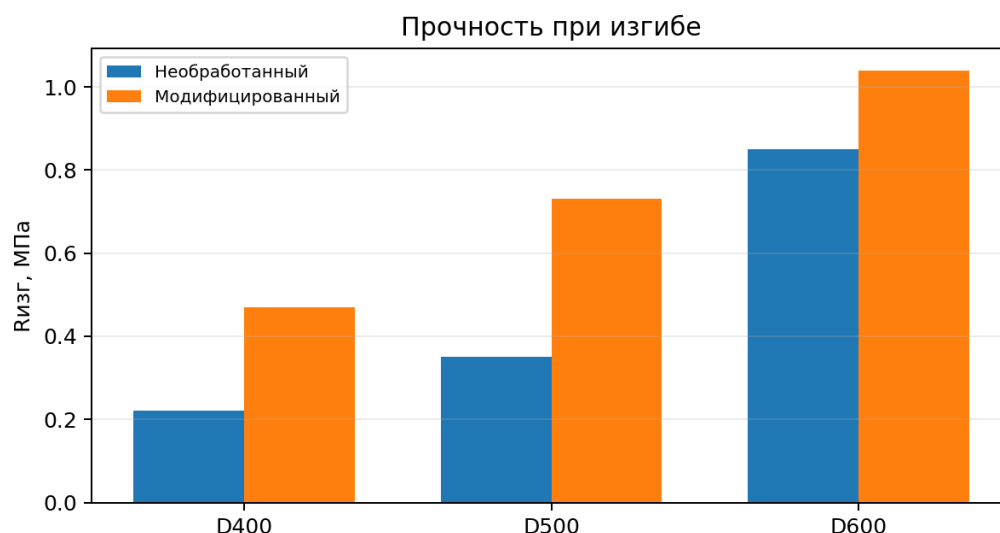


Рисунок 2 - Изменение прочности при изгибе вермикулитбетона.

Таблица 2

Матрица плана и расчетные значения прочности

№	x1	x2	x3	МК, кг/м ³	В/Ц	V, кг/м ³	R _{сж}	R _{изг}
1	-1	-1	-1	0.0	0.45	97.6	1.97	0.79
2	1	-1	-1	13.2	0.45	97.6	2.31	0.94
3	-1	1	-1	0.0	0.55	97.6	1.56	0.53
4	1	1	-1	13.2	0.55	97.6	1.9	0.7
5	-1	-1	1	0.0	0.45	112.6	1.3	0.45
6	1	-1	1	13.2	0.45	112.6	1.67	0.61
7	-1	1	1	0.0	0.55	112.6	0.92	0.27
8	1	1	1	13.2	0.55	112.6	1.38	0.47

Максимальные значения прочности получены при наличии микрокремнезема, пониженном В/Ц и меньшем расходе вермикулита. Это подтверждает, что структурообразующая роль микрокремнезема проявляется наиболее эффективно при ограниченном количестве воды в цементной системе [6, 7].



Рисунок 3 - Отклики полного факторного плана 2³.

Таблица 3

Расчетные коэффициенты регрессии

Коэффициент	Смысл коэффициента	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа
b0	средний уровень отклика	1.6248	0.5956
b1	микрокремнезем	0.1884	0.0852
b2	В/Ц	-0.1868	-0.1027
b3	вермикулит	-0.3105	-0.1447
b12	X1X2	0.0136	0.0052
b13	X1X3	0.0185	0.0044
b23	X2X3	0.018	0.0221
b123	X1X2X3	0.0099	0.0026

Положительный коэффициент микрокремнезема показывает его упрочняющее влияние. Отрицательный коэффициент В/Ц указывает на снижение прочности при увеличении доли воды, а отрицательный коэффициент вермикулита подтверждает, что рост содержания пористого заполнителя повышает теплоизоляционность, но уменьшает прочностной потенциал материала.

Таблица 4

Расчетно рекомендуемые производственные составы

Марка	Цемент	Песок	Вермик.	Вода	МК	СП	В/Ц	$\rho_{сух}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$
D400 исходный	180.0	94.5	112.6	99.0	10.8	2.16	0.55	400	1.4	0.47
D400 оптим.	190.0	85.15	111.75	104.5	10.8	2.3	0.55	400	1.7	0.5
D500 исходный	220.0	159.1	105.1	110.0	13.2	2.64	0.5	500	2.1	0.73
D500 оптим.	227.5	152.7	104.1	116.25	13.2	2.5	0.51	500	2.5	0.8
D600 исходный	270.0	212.9	97.6	121.5	16.2	3.24	0.45	600	2.5	1.04
D600 оптим.	280.0	203.58	96.99	126.0	16.2	3.24	0.45	600	2.7	1.2

Оптимизированные составы обеспечивают повышение прочности: для D400 до 1,7 МПа, для D500 до 2,5 МПа, для D600 до 2,7 МПа. Это позволяет рассматривать модифицированный вермикулитобетон как перспективный материал для мелких стеновых блоков.

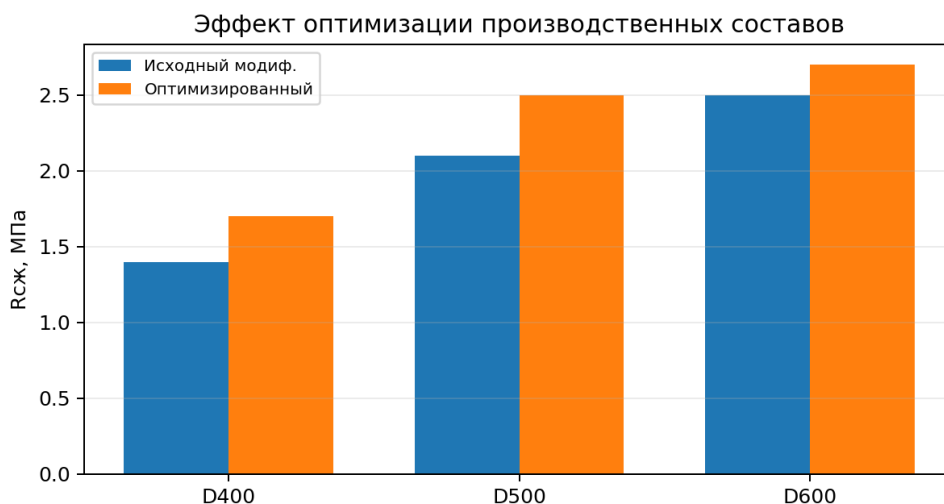


Рисунок 4. Эффект оптимизации производственных составов.

Технико-экономическое обоснование

Экономическая эффективность материала оценивалась не только по стоимости 1 м³ вермикулитобетона, но и по стоимости готового стенового решения. Это важно, поскольку традиционная газобетонная стена часто требует дополнительного утепления, гидроизоляции, клеевых составов, дюбелей, фасадной сетки и строительных работ [8-12].

Таблица 5

Итоговая стоимость сырьевой части вермикулитбетона на 1 м³

Марка/вариант	База	Добавки	Итого бюджет.	Итого силикон.
D400 без МК	872891	31650	904541	1091141
D400 с МК	896651	31650	928301	1114901
D500 с МК	907612	31650	939262	1125862
D500 без МК	878572	31650	910222	1096822
D600 с МК	926741	31650	958391	1144991
D600 без МК	891101	31650	922751	1109351

При использовании бюджетного гидрофобизатора стоимость сырьевой части находится в диапазоне 904 541-958 391 сум/м³. Силиконовый вариант гидрофобизации значительно увеличивает стоимость, поэтому для массового производства целесообразно использовать экономически доступный состав обработки.

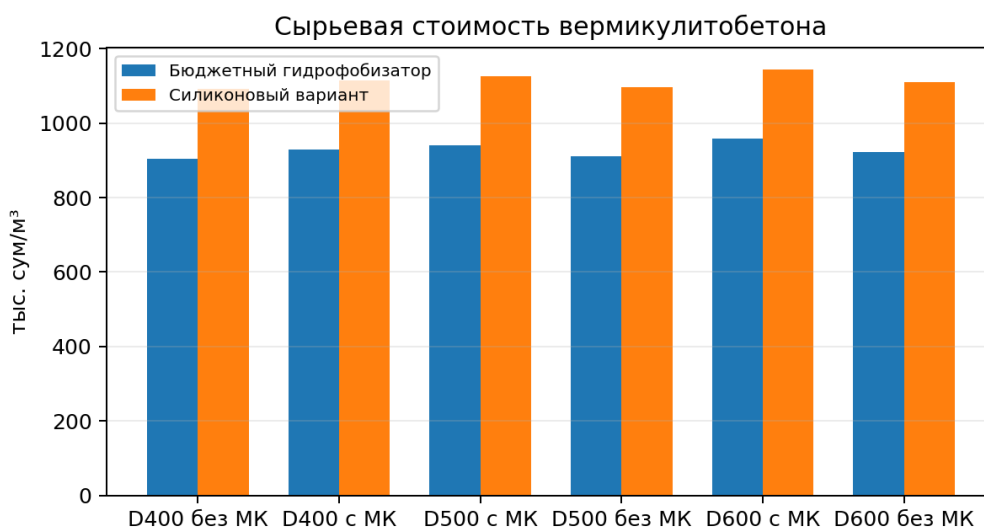


Рисунок 5. Сырьевая стоимость вермикулитобетона.

Таблица 6.

Сравнение стоимости 1 м² стены из вермикулитобетона и газобетона

Цена ВБ	ВБ материалы	Экономия мат.	Экономия мат., %	ВБ с кладкой	Экономия с раб.	Экономия с раб., %
900000	270000	47426	14,9	354112	124791	26,1
950000	285000	32426	10,2	369112	109791	22,9
1000000	300000	17426	5,5	384112	94791	19,8
1100000	330000	-12574	-4,0	414112	64791	13,5
1200000	360000	-42574	-13,4	444112	34791	7,3
1300000	390000	-72574	-22,9	474112	4791	1,0
1350000	405000	-87574	-27,6	489112	-10209	-2,1

При цене вермикулитобетона 950 000-1 000 000 сум/м³ экономия по материалам составляет 5,5-10,2 %, а с учетом работ - 19,8-22,9 %. Даже при цене 1 200 000 сум/м³ сохраняется положительный эффект по общей стоимости стенового решения.

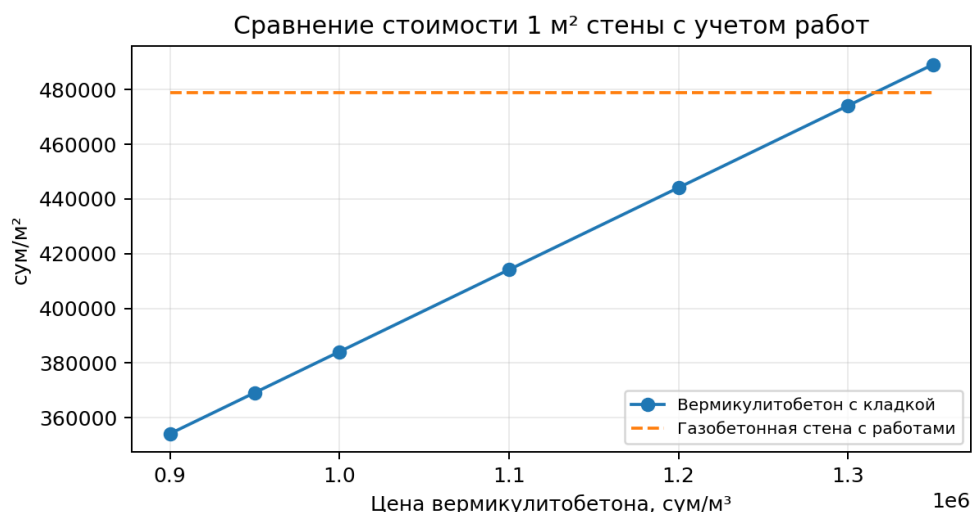


Рисунок 6 - Сравнение стоимости 1 м² стены с учетом работ.

Заключение

Разработанная технологическая схема комплексной модификации вермикулита и производства вермикулитбетонных блоков позволяет улучшить структуру материала, снизить водопоглощение пористого заполнителя и повысить прочность готовых изделий.

Наиболее значимыми факторами, влияющими на прочность, являются расход вермикулита, водоцементное отношение и наличие микрокремнезема. Оптимизированные составы D400-D600 обеспечивают рациональное сочетание плотности, прочности и теплоизоляционных свойств.

Технико-экономический анализ подтверждает конкурентоспособность вермикулитобетонной стены по сравнению с газобетонной стеной, требующей дополнительных тепло- и гидроизоляционных слоев. Экономический эффект достигается за счет сокращения материалов, операций и трудоемкости строительства.

Список литературы

- [1]. Баженов Ю.М. Технология бетона. - М.: Издательство АСВ, 2011. - 528 с.
- [2]. Невский В.А. Легкие бетоны и конструкции на их основе. - М.: Стройиздат, 2008. - 412 с.
- [3]. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. - М.: Стройиздат, 1998. - 768 с.
- [4]. Кудяков А.И., Петров В.П. Вермикулит и материалы на его основе. - Новосибирск: Наука, 2010. - 286 с.
- [5]. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. - New York: McGraw-Hill, 2014. - 704 p.

- [6]. Neville A.M. Properties of Concrete. - London: Pearson Education, 2012. - 846 p.
- [7]. Scrivener K., Snellings R., Lothenbach B. A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials. - Boca Raton: CRC Press, 2016. - 540 p.
- [8]. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
- [9]. ГОСТ 12730.3-2020. Бетоны. Метод определения водопоглощения.
- [10]. ГОСТ 31360-2007. Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия.
- [11]. ШНК 4.02.01-04. Сборник сметных норм на строительные работы. Земляные и строительные работы.
- [12]. Методические рекомендации по технико-экономической оценке строительных материалов и конструктивных решений. - Ташкент, 2020.

O'ZBEKISTONNING KESKIN KONTINENTAL IQLIM SHAROITIDA BAZALT FIBROBETONLI KOMBINATSIYALASHGAN YO'L PLITALARINI LOYIHALASH VA QO'LLASH ISTIQBOLLARI

A.B. Kayratdinova

Berdaq nomidagi Qoraqalpoq Davlat Universiteti

e-mail: aynurakayratdinova48g@mail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5078-0033>

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya. Mazkur ilmiy maqolada O'zbekiston Respublikasining keskin kontinental iqlim sharoiti - yoz faslidagi ekstremal yuqori harorat (quyosh ostida yo'l yuzasi +70°C gacha), qishki davrdagi manfiy haroratlari (-25°C gacha) va sutkalik harorat amplitudasining kattaligi, shuningdek xalqaro tranzit yo'laklaridagi (M39, A373, M37) og'ir vaznli transport oqimi sharoitida avtomobil yo'llarining konstruktiv mustahkamligi va xizmat muddatini oshirish muammosi kompleks tarzda tahlil qilinadi. An'anaviy asfalt-beton qoplamalarning issiqlik ta'sirida plastik deformatsiyaga uchrashi (koleya hosil bo'lishi) va an'anaviy sement-beton plitalarining chok va chetki qismlarida yorilish hamda uvalanish jarayonlari muhandislik-nazariy nuqtai nazardan izohlanadi. Muammoning yechimi sifatida plitaning chetki, eng yuqori kuchlanish konsentratsiyasi kuzatiladigan zonalarini mahalliy bazalt tolali fibrobeton bilan izchil kombinatsiyalash texnologiyasi taklif etiladi. Maqolada ushbu texnologiyaning nazariy-matematik modeli, konstruktiv parametrlari, ishlab chiqarish texnologiyasi va texnik-iqtisodiy samaradorligi asoslangan.

Kalit so'zlar: kombinatsiyalashgan yo'l plitasi; bazalt fibrobeton; kontinental iqlim; cho'zilish mustahkamligi; chidamlilik; harorat kuchlanishi; yo'l qurilishi texnologiyasi; importni o'rnini bosish.

Аннотация. В данной научной статье комплексно анализируется проблема повышения конструктивной прочности и срока службы автомобильных дорог в условиях резко континентального климата Республики Узбекистан - экстремально высокие температуры в летний период (до +70°C на дорожной поверхности под солнцем), отрицательные температуры в зимний период (до -25°C) и большая суточная амплитуда температур, а также тяжеловесный транспортный поток на международных транзитных коридорах (М39, А373, М37). С инженерно-теоретической точки зрения объясняется пластическая деформация традиционных асфальтобетонных покрытий под воздействием тепла (образование колеи) и процессы трещин и крошения в швах и краях традиционных цементобетонных плит. В качестве решения проблемы предлагается технология последовательного комбинирования крайних, наиболее напряженных зон плиты с местным базальтоволокнистым фибробетоном. В статье обоснованы теоретико-математическая модель, конструктивные параметры, технология производства и технико-экономическая эффективность данной технологии.

Ключевые слова: комбинированная дорожная плита; базальтовый фибробетон; континентальный климат; прочность на растяжение; долговечность; температурное напряжение; технология дорожного строительства; импортозамещение.

Abstract. This scientific article comprehensively analyzes the problem of increasing the structural strength and service life of highways in the conditions of the sharply continental climate of the Republic of Uzbekistan - extremely high temperatures in summer (up to +70°C on the road surface under the sun), negative temperatures in winter (up to -25°C) and a large daily temperature amplitude, as well as heavy traffic flow on international transit corridors (M39, A373, M37). From an engineering-theoretical

perspective, the plastic deformation of traditional asphalt concrete pavements under the influence of heat (coil formation) and the processes of cracking and crumbling in the joints and edges of traditional cement concrete slabs are explained. As a solution to the problem, the technology of sequentially combining the edge, most stressed zones of the slab with local basalt fiber fiber concrete is proposed. The article substantiates the physico-mathematical model, structural parameters, production technology, and the technical and economic efficiency of this technology.

Keywords: combined road slab; basalt fiber concrete; continental climate; tensile strength; durability; temperature stress; road construction technology; import substitution.

Kirish

Bugungi kunda O'zbekistonda avtomobil yo'llari tarmog'ini rivojlantirish, xalqaro tranzit yo'laklarini (masalan, M39, A373, M37 magistralari) modernizatsiya qilish va ularning yuk ko'tarish qobiliyatini oshirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biridir. Rasmiy ma'lumotlarga ko'ra, Respublika umumiy foydalanishdagi avtomobil yo'llari tarmog'ining umumiy uzunligi 42 ming kilometrdan ortiqni tashkil etadi, shundan davlat ahamiyatidagi yo'llar ulushi sezilarli qismni egallaydi. Biroq, mamlakatimiz hududida uzoq yillar davomida yo'l qoplamasi sifatida asosan asfalt-beton qoplamalarga ustuvorlik berilishi bir qator jiddiy konstruktiv va iqtisodiy muammolarni yuzaga keltirmoqda [1-3].

O'zbekistonning keskin kontinental iqlimi yoz faslida haroratning keskin ko'tarilishi (soyada +45°C dan yuqori, quyosh ostida yo'l yuzasi +70°C gacha) va qishda -25°C gacha pasayishi, shuningdek sutkalik va yillik harorat amplitudasining kattaligi (ba'zi hududlarda 80-90°C gacha yetishi) bilan xarakterlanadi [9]. Bunday sharoitda an'anaviy asfalt-beton qoplamalar quyidagi zaifliklarni namoyish etadi:

- Plastik deformatsiyalar: yuqori haroratda asfalt tarkibidagi bitum yumshaydi va og'ir vaznli yuk mashinalari (ayniqsa, qishloq xo'jaligi mahsulotlari va xalqaro tranzit tirlari) ta'sirida yo'lda chuqur g'ildirak izlari (koleya) va to'lqinsimon deformatsiyalar hosil bo'ladi;
- Termooksidlanish va eskirish: yuqori ultrabinafsha radiatsiya va harorat ta'sirida bitumning tezlashgan eskirishi, yoriqlar tarmog'ining ("timsoh terisi" tipidagi yoriqlar) paydo bo'lishi;
- Iqtisodiy yuklama: asfalt qoplamalar o'rtacha har 3-5 yilda joriy va kapital ta'mirlashni talab qiladi, bu esa davlat budjetiga doimiy va o'sib boruvchi moliyaviy yuklama olib keladi.

Bunga muqobil sifatida so'nggi yillarda sement-beton qoplamalar keng joriy etilmoqda (misol uchun, «Toshkent-O'sh» A373 avtomobil yo'lining Qamchiq dovoni qismi). Sement-beton qoplamalar yuqori qattqlikka ega, issiqda yumshamaydi va xizmat muddati 40-50 yilni tashkil etadi. Ammo an'anaviy yaxlit sement-beton plitalarning ham o'ziga xos jiddiy kamchiligi bor: plitalarning choklari va chetlari harakatdagi transport g'ildiragining dinamik urilishi, harorat kengayishi va muzlash-erish siklari natijasida tez uvalanadi, sindiriladi va ko'ndalang yoriqlar hosil qiladi. Mazkur muammo ushbu tadqiqotning asosiy obyekti bo'lib, uning yechimi sifatida fibrobetondan foydalanilgan kombinatsiyalashgan yo'l plitalari texnologiyasini mahalliy sharoitga moslashtirish taklif etiladi [1-4].

Fibrobeton bilan mustahkamlangan yo'l qoplamalari bo'yicha tadqiqotlar jahon amaliyotida uzoq tarixga ega. AHSN, Xitoy, Rossiya va Yevropa mamlakatlarida olib borilgan tadqiqotlarda polipropilen, po'lat, shisha va bazalt tolalari qo'llanilgan fibrobetonlarning chidamlilik ko'rsatkichlari o'rganilgan. Ko'pchilik tadqiqotchilar ta'kidlashicha, fibra qo'shilgan beton matritsasida cho'zilishdagi chidamlilik va yorilishga qarshilik ko'rsatish xususiyati 25-60 foizgacha ortadi, bu esa ayniqsa plita chetlari va choklari kabi yuqori kuchlanish konsentratsiyasi zonalarida samarali hisoblanadi.

Xitoyning Shinjon-Uyg'ur muxtor rayoni va Qozog'istonning janubiy viloyatlari kabi O'zbekistonga o'xshash kontinental iqlim sharoitida olib borilgan tadqiqotlarda ham xuddi shunday natijalar qayd etilgan: fibra bilan mustahkamlangan chetki zonalarga ega beton plitalarning xizmat

muddati oddiy plitalarga nisbatan 1,5-2 barobar uzaytirilgan. Shu bilan birga, aksariyat xorijiy tadqiqotlarda import qilinadigan shisha yoki po‘lat tolalar qo‘llanilgan, bu esa mahalliy sharoitda yuqori tannarx muammosini keltirib chiqaradi [5-7].

O‘zbekistonda bazalt xom ashyosining (xususan Jizzax viloyati konlari) mavjudligi va bazalt tolasi ishlab chiqarish quvvatlarining shakllantirilishi ushbu muammoni hal qilish uchun qulay shart-sharoit yaratadi. Shu sababli, mazkur tadqiqotda xorijiy tajribadan farqli o‘laroq, mahalliy xom ashyo bazasida ishlab chiqarilgan bazalt tolasini kombinatsiyalashgan yo‘l plitalarida qo‘llash masalasi ustuvorlik kasb etadi.

3. Tadqiqot maqsadi, vazifalari va usullari. Tadqiqotning maqsadi - O‘zbekistonning iqlim-geologik sharoitiga mos kombinatsiyalashgan (asosiy qismi oddiy yo‘l betoni, chetki zonalar bazalt fibrobetoni) yo‘l plitasining nazariy, konstruktiv va texnologik asoslarini ishlab chiqishdan iborat. Buning uchun quyidagi vazifalar qo‘yildi:

- plita konstruksiyasida yuzaga keladigan kuchlanishlar taqsimotini nazariy tahlil qilish;
- bazalt fibrobetonning mexanik va kimyoviy xususiyatlarini oddiy beton va shisha fibrobeton bilan qiyosiy baholash;
- termik va mexanik kuchlanishlarni hisoblash uchun matematik modelni taklif etish;
- ishlab chiqarish va yotqizish texnologik reglamentini ishlab chiqish;
- texnik-iqtisodiy samaradorlikni an’anaviy yechimlar bilan qiyosiy hisoblash.

Tadqiqotda muhandislik mexanikasi usullari (kuchlanish-deformatsiya tahlili), empirik-matematik modellash, shuningdek qiyosiy texnik-iqtisodiy tahlil usullaridan foydalanildi. Nazariy xulosalar xalqaro meyoriy hujjatlar va mahalliy yo‘l qurilishi tajribasiga asoslangan ma’lumotlar bilan taqqoslandi.

4. Asosiy qism. Ilmiy tadqiqotlar va yo‘l qoplamalarining holatini kuzatish natijalari shuni ko‘rsatadiki, yo‘l to‘shmasi konstruksiyalarining yemirilish jarayoni vaqt o‘tishi bilan to‘planib boradi. Bu dastlab ko‘zga ko‘rinmaydigan mahalliy mikroyoriqlar ko‘rinishida to‘planib, borib-borib yaqqol ko‘rinadigan chuqur yoriqlarga aylanadi.

Transport vositasining g‘ildiragi yo‘l plitasining markazida harakatlenganda, kuchlanishlar plita bo‘ylab tekis taqsimlanadi va beton asosan siqilishga ishlaydi. Biroq, g‘ildirak plitaning chetiga yoki burchak qismiga kelganda, plita cheti konsol (osma to‘sin) sifatida ishlay boshlaydi. Bunda plitaning ustki qismida juda katta cho‘zilish kuchlanishlari yuzaga keladi. Oddiy beton esa siqilishga juda mustahkam bo‘lsada, cho‘zilishga va egilishga o‘ta zaif hisoblanadi (siqilishdagi mustahkamligining atigi 10-12 foizini tashkil etadi) [2, 4].

Natijada plitaning chetlarida mikroyoriqlar paydo bo‘ladi, ularga suv kirishi va O‘zbekistonning qish mavsumidagi sutkalik muzlash-erish sikllari (muzlagan suv hajmi taxminan 9% ga kengayadi) ta’sirida beton tez fursatda uvalanib, buzilib ketadi. Plitaning chetki yuqori qismini kuchaytirish uchun an’anaviy po‘lat armatura ishlatish har doim ham kutilgan natijani bermaydi, chunki himoya qatlami kichik bo‘lganda armatura korroziyaga uchraydi yoki ochilib qolib, avtomobil shinalariga zarar yetkazishi xavfi tug‘iladi.

Shuningdek, plita cheti ostida yotqizilayotgan asos (grunt yoki shag‘al qatlam)ning turli uchastkalarda notekis zichlanishi natijasida yuzaga keladigan “pumping” effekti (suv va mayda zarrachalarning plita ostidan siqib chiqishi) ham chetki zonalarining tezlashgan buzilishiga sabab bo‘ladi. Bu omil, ayniqsa, yuqori namlik davrlarida (bahor va kuz mavsumlarida) kuchayib boradi.

Ushbu zaiflikni bartaraf etishning eng samarali yo‘li - plitaning konstruktiv tuzilishini kombinatsiyalashdan iborat. Plitaning asosiy o‘rta qismi an’anaviy og‘ir yo‘l betonidan (Klass B30/B35) tayyorlanadi, ammo eng ko‘p kuchlanish tushadigan va yorilish xavfi yuqori bo‘lgan

chetki zonalari (plita chetidan ichkariga qarab 15-25 sm kenglikda va yuzadan 5-8 sm chuqurlikda) yuqori cho'zilish mustahkamligiga ega bo'lgan fibrobetondan izchil quyiladi [10].

Fibrobeton tarkibidagi mayda tolalar (fibralar) beton matritsasi bo'ylab dispers holatda tarqalib, uch o'lchamli mustahkamlovchi to'r hosil qiladi va mikroyoriqlarning kengayishiga yo'l qo'ymaydi. Maqolada shisha toladan foydalanish ham ko'rib chiqilgan bo'lsa-da, O'zbekiston sharoiti uchun mamlakatimizda (xususan Jizzax viloyatida) keng yo'lga qo'yilgan mahalliy bazalt tolasini (bazaltovaya fibra) qo'llash texnik va iqtisodiy jihatdan yuqori samara beradi.

Bazalt tolasini va shisha tolasining qiyosiy xususiyatlari

Ko'rsatkich	Bazalt tolasini	Shisha tolasini (E-glass)	Po'lat tolasini
Cho'zilishdagi mustahkamlik, MPa	3000-4800	2000-3500	1000-1500
Ishqoriy muhitga bardoshlilik	Yuqori	Past/O'rta	Yuqori (past korroziya)
Korroziyaga moyillik	Yo'q	Qisman (ishqorda)	Yuqori
Zichligi, g/sm ³	2,6-2,8	2,5-2,6	7,8
Mahalliy ishlab chiqarish (O'Z)	Bor (Jizzax)	Cheklangan	Bor, ammo korroziya xavfi

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, bazalt tolasini cho'zilishdagi mustahkamlik va ishqoriy muhitga bardoshlilik bo'yicha shisha tolasidan ustun, shu bilan birga po'lat tolasiga xos korroziya muammosidan xoli. Bazalt tolasini quyidagi asosiy xususiyatlari bilan ajralib turadi:

- Yuqori kimyoviy va ishqoriy bardoshlilik: beton qorishmasining ichki ishqoriy muhitida shisha tolasini vaqt o'tishi bilan yemirilishi mumkin, bazalt tolasini esa mutlaqo korroziyaga uchramaydi;

- Mexanik mustahkamlik: bazalt tolasining cho'zilishdagi mustahkamligi po'latnikidan 3-4 barobar yuqori va u juda yengildir, bu plitaning umumiy vaznini oshirmaydi;

- Xavfsizlik: transport harakati natijasida plita yuzasi yeyilganda ham, ochilib qolgan bazalt tolalari ingichka va yumshoqligi sababli avtomobil shinalarini shikastlamaydi;

- Issiqlik barqarorligi: bazalt tolasini 600°C gacha haroratda xususiyatlarini yo'qotmaydi, bu O'zbekistonning ekstremal yozgi haroratlari uchun muhim ahamiyatga ega.

G'ildirak ta'siri soni va plita qalinligiga qarab yorilish ko'rsatkichini aniqlash uchun xalqaro tajribada quyidagi empirik formula qo'llaniladi:

$$C = 2.8 \times N \times H$$

bu yerda: C - yorilish ko'rsatkichi; N - standart o'q yuklamasining ta'sirlar soni (million hisobida); H - plitaning qalinligi (dyuymda).

O'zbekiston sharoitida issiqlik ta'sirida plitaning yuqori va pastki qatlamlari o'rtasida harorat gradiyenti (ΔT) yuzaga keladi. Plitada hosil bo'ladigan issiqlik kuchlanishi quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_t = (\alpha \times E \times \Delta T) / 2$$

bu yerda: α - betonning chiziqli kengayish koeffitsiyenti (taxminan $1.0-1.3 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$); E - betonning elastiklik moduli (30–36 GPa atrofida); ΔT - plitaning yuqori va pastki sirlari orasidagi harorat farqi (O'zbekiston sharoitida yozda 25-35°C gacha yetishi mumkin) [9].

O'zbekistonning issiq va quruq havo sharoitida kombinatsiyalashgan yo'l plitalarini tayyorlashda ikki xil texnologik yondashuv tavsiya etiladi:

1. Yig'ma temir-beton usuli (Zavod sharoitida plitalar tayyorlash): Qolipga metall armatura to'ri o'rnatilgandan so'ng, qolipning chetki qismlari maxsus ko'tarilma to'siqlar (shtorkalar) yordamida ajratiladi. Markaziy qismga oddiy yo'l betoni quyilayotgan vaqtda, chetki bo'shliqlarga bir paytning o'zida bazalt-fibrobeton qorishmasi uzatiladi. Qorishmalar quyilgach, to'siqlar sekin

yuqoriga tortib olinadi va plita yaxlit vibropresslanadi. Bu ikki xil beton qatlamining molekulyar darajada mustahkam tutashishini ta'minlaydi.

2. Monolit usuli (Yo'l qurilish maydonida tadbiq etish): Zamonaviy yo'l yotqizish kombaynlari ishlaganda, kombaynning chekka bunkerlariga fibrobeton qorishmasi alohida uzatiladi yoki oddiy beton yotqizilgandan so'ng, plitaning chetki zonalariga fibrobeton pnevmatik purkash (pnevmonabrizg) usuli bilan kiritiladi va tekislanadi.

O'zbekiston sharoitida beton tarkibidagi suvning tez bug'lanib ketishining oldini olish maqsadida qorishmaga albatta maxsus superplastifikatorlar va suv tutuvchi kimyoviy qo'shimchalar qo'shilishi, yangi yotqizilgan beton yuzasiga esa suv o'tkazmaydigan plyonka hosil qiluvchi vositalar (kyuringlar) sepilishi shart. Bundan tashqari, beton qotish jarayonida yuzada termal yoriqlar paydo bo'lmashligi uchun yotqizishni erta tong yoki kechki soatlarda amalga oshirish, shuningdek quyosh nurlaridan himoyalovchi vaqtinchalik yopqichlardan foydalanish tavsiya etiladi [10, 11].

Texnik-iqtisodiy solishtirma tahlil

Ko'rsatkichlar	An'anaviy Asfalt qoplama	Oddiy Sement-beton plita	Kombinatsiyalashgan Bazalt-fibrobeton plita
Xizmat muddati (yil)	3 - 5 yil (tez-tez ta'mir talab)	20 - 25 yil (choklarda sinishlar)	40 - 50 yil (yuqori bardoshlilik)
Yozgi issiqqa chidamlilik (+70°C)	Past (plastik deformatsiya, iz qolishi)	Yuqori (lekin harorat choklarida yorilish bor)	Maksimal (fibra yorilishlarni butkul to'sadi)
Saqlash va ta'mir xarajatlari	Juda yuqori (har yili yamash)	O'rtacha (choklarni tez-tez to'ldirish)	Minimal (deyarli xarajat talab qilmaydi)

Xulosa va tavsiyalar

1. O'zbekistonning iqlim sharoiti yo'l qurilishida an'anaviy yondashuvlardan voz kechib, qattiq va innovatsion konstruktiv yechimlarni, xususan kombinatsiyalashgan sement-beton qoplamalarni keng joriy etishni talab qiladi.

2. Bazalt yoki shisha tolali fibrobetondan foydalanilgan kombinatsiyalashgan yo'l plitalari plita choklari va chetlarining yemirilishi bilan bog'liq bo'lgan asosiy texnologik muammoni to'liq hal etadi va nazariy-matematik asosda isbotlangan.

3. Mahalliy bazalt fibrasidan foydalanish import o'rnini bosish va mahsulot tannarxini sezilarli darajada kamaytirish imkonini beradi, bu esa milliy iqtisodiyot manfaatlariga mos keladi.

4. Taklif etilgan matematik modellar (termik kuchlanish, fibra ta'sirida mustahkamlik ortishi, charchoq umri) loyihalash amaliyotida aniq muhandislik hisoblari uchun asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

5. Texnik-iqtisodiy tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, ushbu texnologiya asosida yo'l qurish plita qalinligini 10-15% ga tejash bilan bir qatorda, yo'llarning kapital ta'mirlashlar orasidagi muddatini 2-3 barobarga uzaytiradi va 30 yillik istiqbolda umumiy egalik xarajatini 35-45% ga kamaytiradi.

6. Keyingi tadqiqotlar uchun tavsiya etiladi: turli fibra hajmiy ulushlari (1-3%) bo'yicha laboratoriya sinovlarini o'tkazish, shuningdek pilot loyiha doirasida amaliy sinov uchastkalarini barpo etish.

Adabiyotlar

- [1]. O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligi. Avtomobil yo'llari tarmog'i statistikasi bo'yicha ma'ruza materiallari.
- [2]. Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Соф В.М., Илясов А.Т. Особенности использования лазерно-интерференционных методов при исследовании деформационных свойств цементосодержащих материалов // Вестник Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан. – Нукус. 2017, -№4.- С.30-36. (05.00.00. №19)

- [3]. Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Сои В.М., Кесарийский А.Г. Методологические основы исследования многокомпонентных высококачественных бетонов нового поколения (Монография). - «Фан ва технология», 2018. - 196 с.
- [4]. Адылходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Сои В.М., Умаров К.С. Комплексно-модифицированные бетоны с органоминеральными добавками (Монография). - «Инновацион ривожланиш нашриёт-манбаа уйи», 2020. - 235 с.
- [5]. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [6]. Brown S.F. Pavement materials and design — an overview. // Transportation Research journal materials.
- [7]. Lee N.P., Pavasars S. Basalt fiber reinforced concrete: mechanical and durability properties // Construction and Building Materials journal.
- [8]. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Бетоны и растворы со специальными свойствами. — Москва: Стройиздат.
- [9]. O'zbekiston gidrometeorologiya xizmati ma'lumotlari (mintaqalar bo'yicha harorat rejimi statistikasi).
- [10]. Белоусов И.В., Шилов А.В., Меретуков З.А., Маилян Л.Д. Применения фибробетона в железобетонных конструкциях. - Инженерный вестник Дона. - 2017. - № 4. - С. 28-40.
- [11]. SHNK 2.05.02-07. Avtomobil yo'llari. Loyihalash meyorlari. - Toshkent.

NON-AUTOCLAVED FOAM CONCRETE WITH A MODIFIED FOAM-STRUCTURING CARBONATE-SILICATE ADDITIVE BASED ON POWDERED WASTES

J. Turgaev^{1*}, V. Soy²

¹Karakalpak state university, Nukus, Uzbekistan

E-mail: jambulturgaev46@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2483-9727>

²Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

*Corresponding author, e-mail: jambulturgaev46@gmail.com

E-mail: volodya_tsoy@inbox.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9599-1776>

(Received on September 3rd, 2026)

Abstract. The article considers the technology for producing non-autoclaved foam concrete using a modified foam-structuring carbonate-silicate additive. Dedusting dust from cement production, limestone crushing carbonate dust, silica fume, and aluminosilicate dust were used as the raw material basis of the additive. The distinctive feature of the proposed development is the two-stage mechanical activation of the mineral base, air classification with separation of a foam-active fraction with a particle size of 1-15 μm and a matrix fraction with a particle size of 15-45 μm , followed by organosilicon hydrophobization to a water contact angle of 70-95° and foam-adapting treatment with a foaming agent solution. The proposed approach increases the stability of technical foam in cement suspension, reduces the settlement of the foam concrete mass after molding, densifies interpore partitions, and decreases water absorption and shrinkage. The obtained results show that the developed mixtures provide foam concrete with an average density of 405-620 kg/m^3 and a 28-day compressive strength of 1.85-3.65 MPa, confirming the possibility of using the material for thermal-insulating and structural-thermal-insulating non-autoclaved products.

Keywords. Non-autoclaved foam concrete; technical foam; foam-structuring additive; carbonate-silicate additive; cement production dedusting dust; limestone carbonate dust; organosilicon water repellent; mechanical activation; air classification; foam adaptation; interpore partitions.

Annotatsiya. Maqolada modifikatsiyalangan ko'pik strukturasini shakllantiruvchi karbonat-silikat qo'shimcha asosida avtoklavsiz ko'pikbeton ishlab chiqarish texnologiyasi ko'rib chiqilgan. Qo'shimchani xomashyo bazasi sifatida sement ishlab chiqarish jarayonidagi changsizlantirish changi, ohaktoshni maydalashda hosil bo'ladigan karbonat changi, mikrokremsiyom hamda alyumosilikat changidan foydalanilgan. Taklif etilayotgan ishlanmaning o'ziga xos jihati mineral asosni ikki bosqichli mexanik faollashtirish, havo yordamida klassifikatsiyalash orqali zarracha o'lchami 1–15 μm bo'lgan ko'pik-faol fraksiyani va 15–45 μm o'lchamdagi matritsali fraksiyani ajratish, keyinchalik esa suv bilan namlanish burchagini 70–95° gacha yetkazuvchi organokremniyli gidrofobizatsiya hamda ko'pik hosil qiluvchi modda eritmasi bilan ko'pik muhitiga moslashtiruvchi ishlov berishdan iborat. Taklif etilgan

yondashuv sement suspenziyasida texnik ko'pik barqarorligini oshiradi, qoliplashdan keyin ko'pikbeton massasining cho'kishini kamaytiradi, g'ovaklararo to'siqlarni zichlashtiradi hamda suv shimuvchanlik va kirishishni pasaytiradi. Olingan natijalar ishlab chiqilgan qorishmalar o'rtacha zichligi 405–620 kg/m³ va 28 sutkalik siqilishdagi mustahkamligi 1,85–3,65 MPa bo'lgan ko'pikbeton olish imkonini berishini ko'rsatadi. Bu esa mazkur materialdan issiqlik izolyatsion va konstruktiv-issiqlik izolyatsion avtoklavsiz buyumlar ishlab chiqarishda foydalanish mumkinligini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: avtoklavsiz ko'pikbeton; texnik ko'pik; ko'pik strukturasini shakllantiruvchi qo'shimcha; karbonat-silikat qo'shimcha; sement ishlab chiqarishdagi changsizlantirish changi; ohaktosh karbonat changi; organokremniyli gidrofobizator; mexanik faollashtirish; havo klassifikatsiyasi; ko'pikka moslashtirish; g'ovaklararo to'siqlar.

Аннотация. В статье рассмотрена технология получения неавтоклавного пенобетона с использованием модифицированной пено-структурирующей карбонатно-силикатной добавки. В качестве сырьевой основы добавки использованы пыль обеспыливания цементного производства, карбонатная пыль дробления известняка, микрокремнезём и алюмосиликатная пыль. Отличительной особенностью предлагаемой разработки является двухстадийная механическая активация минеральной основы, воздушная классификация с выделением пеноактивной фракции размером частиц 1–15 мкм и матричной фракции размером 15–45 мкм, с последующей органосиликоновой гидрофобизацией до краевого угла смачивания водой 70–95° и пеноадаптирующей обработкой раствором пенообразователя. Предложенный подход повышает устойчивость технической пены в цементной суспензии, снижает осадку пенобетонной массы после формования, уплотняет межпоровые перегородки, а также уменьшает водопоглощение и усадку. Полученные результаты показывают, что разработанные смеси позволяют получать пенобетон со средней плотностью 405–620 кг/м³ и прочностью при сжатии в возрасте 28 суток 1,85–3,65 МПа, что подтверждает возможность применения материала для теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных неавтоклавных изделий.

Ключевые слова: неавтоклавный пенобетон; техническая пена; пено-структурирующая добавка; карбонатно-силикатная добавка; пыль обеспыливания цементного производства; карбонатная пыль известняка; органосиликоновый гидрофобизатор; механическая активация; воздушная классификация; пеноадаптация; межпоровые перегородки.

Introduction

The production of cellular concretes is one of the promising directions in the development of energy-efficient building materials. Among such materials, non-autoclaved foam concrete occupies a special place because it can be manufactured without expensive autoclave equipment and high thermal-energy consumption. Unlike aerated concrete, in which the porous structure is formed by chemical gas generation, in foam concrete the air pores are created by introducing preformed technical foam into a cement-mineral suspension.

The main technological challenge in foam concrete production is preserving a stable and uniform porous structure during mixing, molding, and early hardening. In an alkaline cement environment, foam films are partially destroyed, individual bubbles coalesce, and the proportion of open capillary pores increases. This leads to higher water absorption, lower strength of inter pore partitions, and greater drying shrinkage.

One effective way to solve this problem is to use finely dispersed mineral additives that can not only densify the cement matrix but also participate in stabilizing the surface of air pores. However, the ordinary introduction of mineral powders does not always provide a stable effect: particles may either become excessively wetted by water and move into the cement phase or disrupt the foam system. Therefore, special preparation of the additive is required, aimed at regulating its dispersion, surface properties, and compatibility with the foaming agent.

The aim of the study is to develop the composition and production technology of non-autoclaved foam concrete with a modified foam-structuring carbonate-silicate additive based on powdered wastes from cement and limestone production.

Materials and Research Methods

Portland cement, mineral filler, water, foaming agent, polycarboxylate superplasticizer, basalt or polypropylene microfiber, and a modified foam-structuring carbonate-silicate additive were used as the main components of the foam concrete mixture.

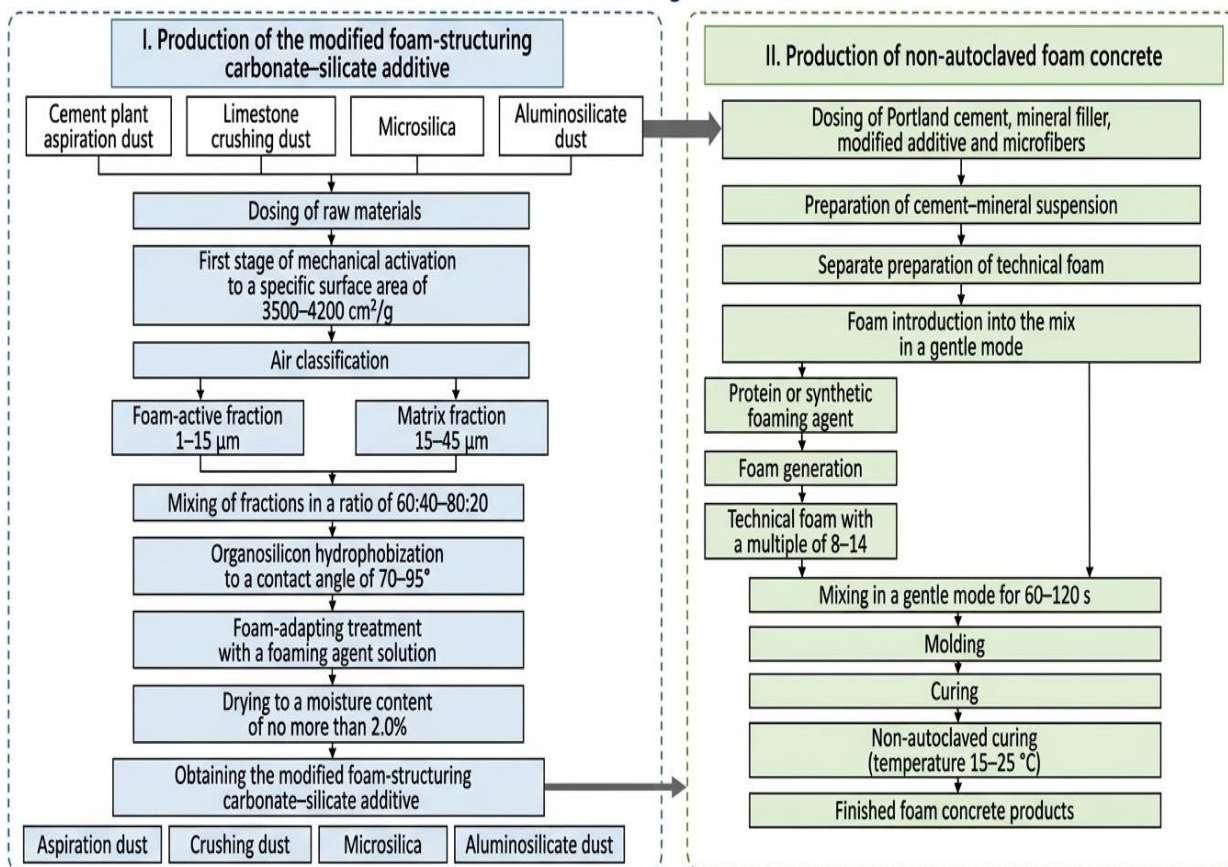
The mineral base of the modified additive included cement production dedusting dust, limestone crushing carbonate dust or limestone screening fines, silica fume, and aluminosilicate dust. This composition was selected considering the possibility of using local powdered wastes, compatibility with the cement binder, and the need to form dense interpore partitions.

The technology for producing the modified additive included the following stages: dosing of the mineral-base components; the first stage of mechanical activation to a specific surface area of 3500-4200 cm²/g; air classification with separation of a foam-active fine fraction with a particle size of 1-15 µm and a matrix fraction with a particle size of 15-45 µm; mixing of these fractions in a ratio of 60:40-80:20; organosilicon hydrophobization to a water contact angle of 70-95°; foam-adapting treatment with an aqueous foaming-agent solution; and drying to a moisture content of not more than 2.0%.

The foam-active fraction was intended to fix particles at the “air-water-cement suspension” interface and increase the stability of technical foam bubbles. The matrix fraction performed the function of a microfiller, contributing to densification of interpore partitions, reduction of capillary permeability, and decrease in shrinkage deformations.

Technical foam was prepared separately from a protein-based or synthetic foaming agent and water using a foam generator. The expansion ratio of the technical foam was 8-14, and its stability after 30 minutes was not less than 85%. The prepared foam was introduced into the cement-mineral suspension at the final mixing stage in a gentle mixing mode for 60-120 seconds.

Figure 1 – Technological scheme for the production of non-autoclaved foam concrete with a modified foam-structuring carbonate-silicate additive



Note: The scheme includes two interconnected technological lines. Line I is for the production of the modified additive, and Line II is for foam concrete production.

Figure 1. Technological scheme for producing non-autoclaved foam concrete with a modified foam-structuring carbonate-silicate additive.

The scheme includes two interconnected technological lines. The first line is intended for producing the modified additive and includes dosing of cement production dedusting dust, limestone crushing carbonate dust, silica fume, and aluminosilicate dust; mechanical activation; air classification; mixing of fractions; organosilicon hydrophobization; foam adaptation; and drying. The second line is intended for producing foam concrete and includes preparation of a cement-mineral suspension, separate production of technical foam, gentle mixing, molding, and non-autoclaved hardening.

Table 1

Compositions of the Developed Foam Concrete Mixtures

Component	Mix 1, wt. %	Mix 2, wt. %	Mix 3, wt. %
Portland cement	32.00	36.00	40.00
Mineral filler	31.00	29.00	24.80
Modified foam-structuring carbonate-silicate additive	8.00	12.00	16.00
Basalt or polypropylene microfiber	0.03	0.06	0.10
Foaming agent	0.55	0.42	0.30
Polycarboxylate superplasticizer	0.20	0.25	0.30
Water	28.22	22.27	18.50

An increase in the content of the modified additive from 8 to 16% is accompanied by an increase in the proportion of the structure-forming fine dispersed phase and a decrease in water consumption in the mixture. At the same time, the amount of foaming agent decreases because the stabilization of air pores is additionally ensured by the foam-active fraction of the additive and its foam-adapted surface.

Research Results

The physical and mechanical properties of the developed mixtures were compared with control mixtures of non-autoclaved foam concrete that did not contain the modified foam-structuring carbonate-silicate additive.

Table 2

Properties of Foam Concrete Specimens

Indicator	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Control 1	Control 2	Control 3
Average density, kg/m ³	405	515	620	420	530	650
Settlement of foam concrete mass after 60 min, %	1.8	1.4	1.2	5.6	4.2	3.5
Compressive strength after 24 h, MPa	0.72	1.12	1.55	0.38	0.70	1.05
Compressive strength after 7 days, MPa	1.35	2.20	2.95	0.95	1.60	2.35
Compressive strength after 28 days, MPa	1.85	2.80	3.65	1.35	2.15	3.05
Water absorption, %	45.0	39.5	34.0	52.0	46.0	39.0
Drying shrinkage, mm/m	2.60	2.25	1.90	3.30	2.80	2.30
Thermal conductivity coefficient, W/(m·°C)	0.102	0.125	0.144	0.110	0.135	0.159

Analysis of the results shows that the use of the modified additive significantly reduces settlement of the foam concrete mass. For the developed mixtures, settlement after 60 minutes was 1.2–1.8%, whereas for the control mixtures this value ranged from 3.5 to 5.6%. This confirms the stabilizing effect of the foam-active fraction and the foam-adapted particle surface.

The 28-day compressive strength of the developed mixtures was 1.85–3.65 MPa, which is higher than the corresponding control values. Mix 2 is the most rational option for structural-thermal-

insulating use; it has an average density of 515 kg/m³, a compressive strength of 2.80 MPa, water absorption of 39.5%, and drying shrinkage of 2.25 mm/m.

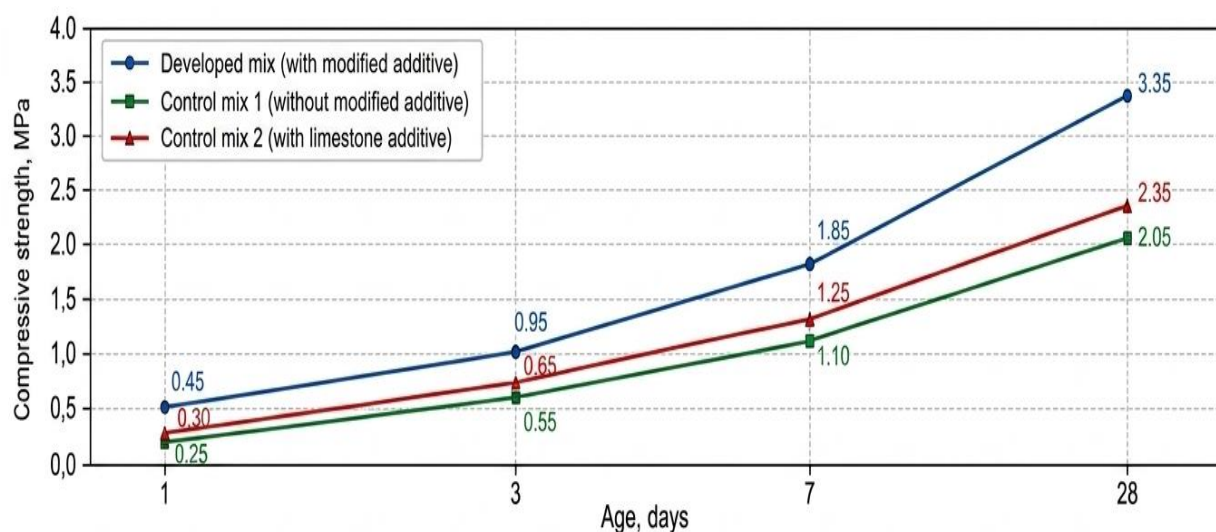


Figure 2 – Change in foam concrete strength depending on the mix composition.

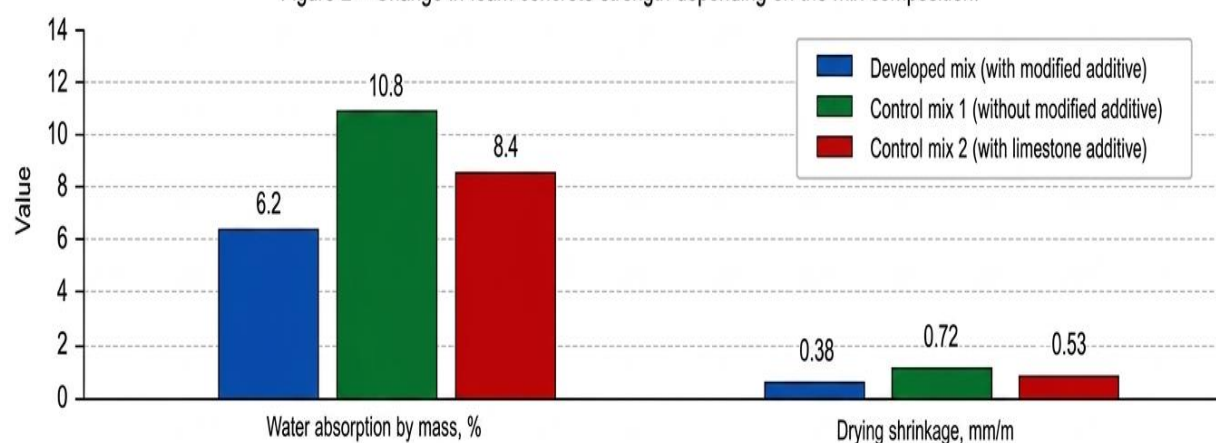


Figure 3 – Comparison of water absorption and shrinkage of developed and control mixes.

Note: Tests were carried out on samples with a density of 600 kg/m³.

Graphical analysis shows that increasing the content of the modified foam-structuring additive increases the strength of foam concrete, while water absorption and shrinkage decrease simultaneously. This is associated with the complex action of the additive: stabilization of air pores, densification of interpore partitions, and reduction of capillary permeability.

Discussion

The obtained results are explained by the structural features of the developed additive. Due to partial hydrophobization, the foam-active fraction with a particle size of 1–15 µm can attach to the surface of air bubbles and reduce the probability of their coalescence. The matrix fraction with a particle size of 15–45 µm acts as a mineral microfiller, reducing defects in interpore partitions.

Organosilicon hydrophobization to a water contact angle of 70–95° is an important technological technique. If hydrophobization is insufficient, the particles are completely wetted by water and are not retained on the surface of air pores. If hydrophobization is excessive, their compatibility with the cement suspension deteriorates. The stated range provides a balance between foam activity and particle participation in the formation of the cement matrix.

Foam-adapting treatment with a foaming-agent solution additionally improves the compatibility of the additive with technical foam. As a result, the additive does not destroy the foam when introduced into the cement-mineral suspension; on the contrary, it contributes to preserving a uniform porous structure.

Economic and Technological Efficiency

The developed foam concrete can be produced without autoclave treatment, which reduces capital and operating costs. An additional economic effect is achieved through the use of powdered wastes from cement and limestone production in the functional additive. Compared with traditional autoclaved aerated concrete, implementation of the technology makes it possible to reduce the cost of 1 m³ of products by lowering heat-energy consumption, reducing the use of natural mineral raw materials, and utilizing local wastes.

In addition to the economic effect, the technology has environmental significance because it involves the use of cement production dedusting dust and limestone crushing carbonate dust in the production of building materials.

Conclusion

A raw material mixture for producing non-autoclaved foam concrete with a modified foam-structuring carbonate-silicate additive has been developed. The additive is characterized by a two-fraction structure, controlled surface hydrophobicity, and a foam-adapted coating, which ensures its effective performance in the technical foam and cement-mineral suspension system.

It has been established that the use of the additive reduces settlement of the foam concrete mass, increases compressive strength, and decreases water absorption and shrinkage. The most rational composition is the mixture with an average density of 515 kg/m³, a 28-day compressive strength of 2.80 MPa, water absorption of 39.5%, and shrinkage of 2.25 mm/m.

The proposed technology can be recommended for pilot industrial implementation in the production of thermal-insulating and structural-thermal-insulating products made of non-autoclaved foam concrete.

References

- [1]. Patent RU 2507181 C1. Mixture for preparing structural-thermal-insulating non-autoclaved cellular concrete.
- [2]. Patent RU 2538575 C1. Compositions and methods for producing non-autoclaved cellular concretes.
- [3]. Patent RU 2458879 C1. Foam concrete mixtures and methods for their preparation.
- [4]. Patent RU 2406710 C2. Foaming compositions for cellular concretes.
- [5]. Patent RU 2547532 C1. Raw material mixtures for cellular concretes.
- [6]. Patent CN 107117852 B. Foam concrete composition with stabilizing particles.
- [7]. Patent EP 2834206 B1. Foamed mineral binder compositions.

УДК 691.327.32

СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВО-ЦЕОЛИТНЫХ ВЯЖУЩИХ ИЗ СЫРЬЯ БЕЛЬТАУСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ж.К. Жиемуратов*

Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Автор для корреспонденции, e-mail: jiemuratov007@gmail.com*

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация. В статье рассмотрены технологические решения получения стеновых материалов на основе известково-цеолитного вяжущего с использованием природного цеолита Бельтауского месторождения. Проанализировано влияние ускорителей твердения, суперпластификатора СП-1, частичной замены вяжущего портландцементом, способа формования и тепловлажностной обработки на прочность, плотность и морозостойкость материалов. Показано, что введение NaCl, CaCl₂ и гипса повышает прочность камня до 15-20 МПа, суперпластификатор СП-1 увеличивает прочность в 1,5-2 раза, а замена части вяжущего портландцементом позволяет получать камень прочностью до 30 МПа. На основе известково-цеолитных композиций возможно получение керамзитобетонных марки М50-75 и вибропрессованных стеновых блоков с улучшенными показателями долговечности.

Ключевые слова: известково-цеолитное вяжущее; стеновые материалы; природный цеолит; суперпластификатор СП-1; тепловлажностная обработка; керамзитобетон; вибропрессование; морозостойкость.

Abstract. The paper presents technological solutions for producing wall materials based on lime-zeolite binders using natural zeolite from the Beltau deposit. The influence of hardening accelerators, SP-1 superplasticizer, partial replacement of the binder with Portland cement, molding method and heat-moisture treatment on strength, density and frost resistance is analyzed. It is shown that additives increase stone strength up to 15-20 MPa, SP-1 raises strength by 1.5-2 times, and partial replacement with cement makes it possible to obtain stone with strength up to 30 MPa. Lime-zeolite compositions can be used to produce M50-75 expanded-clay concretes and vibropressed wall blocks.

Keywords: lime-zeolite binder; wall materials; natural zeolite; SP-1 superplasticizer; heat-moisture treatment; expanded-clay concrete; vibropressing; frost resistance.

Annotatsiya. Maqolada Beltau konining tabiiy seolitidan foydalangan holda ohak-seolit bog'lovchisi asosida devorbop materiallar olishning texnologik yechimlari ko'rib chiqilgan. Qotishni tezlashtiruvchilar, SP-1 superplastifikatori, bog'lovchini qisman portlandsement bilan almashtirish, qoliplash usuli va issiqlik-namlik bilan ishlov berishning materiallarning mustahkamligi, zichligi va sovuqqa chidamliligiga ta'siri tahlil qilindi. NaCl, CaCl₂ va gipsni kiritish toshning mustahkamligini 15-20 MPa gacha, SP-1 superplastifikatori mustahkamlikni 1,5-2 martagacha oshirishi, bog'lovchi moddaning bir qismini portlandsement bilan almashtirish esa 30 MPa gacha mustahkamlikka ega tosh olish imkonini berishi ko'rsatilgan. Ohak-seolitli kompozitsiyalar asosida M50-75 markali keramzitbetonlar va chidamlilik ko'rsatkichlari yaxshilangan vibropresslangan devor bloklarini olish mumkin.

Tayanch so'zlar: ohak-seolitli bog'lovchi; devorbop materiallar; tabiiy seolit; SP-1 superplastifikatori; issiqlik-namlik bilan ishlov berish; keramzitbeton; vibropresslash; sovuqqa chidamlilik.

ВВЕДЕНИЕ

Стеновые материалы остаются одной из наиболее массовых групп строительной продукции. Поэтому даже частичная замена энергоёмких компонентов местным минеральным сырьём может дать заметный технологический и экономический эффект. Природные цеолиты Бельтауского месторождения представляют интерес как активный алюмосиликатный компонент, способный взаимодействовать с известью и формировать гидравлически твердеющий камень.

Известково-цеолитные вяжущие позволяют рассматривать две технологические линии получения стеновых материалов: пластическое формование изделий с последующей тепловлажностной обработкой и прессование жестких смесей. Для практического применения необходимо повысить прочность и долговечность известково-пуццоланового камня, поскольку традиционные известково-пуццолановые материалы могут иметь повышенную воздушную усадку и ограниченную морозостойкость.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использовались природная цеолитовая порода Бельтауского месторождения, строительная известь, кварцевый песок, гипсовый камень, портландцемент ЦЕМ 32,5 (М400), суперпластификатор СП-1 и пористый заполнитель - керамзит. Известково-цеолитное вяжущее готовили совместным измельчением цеолитовой породы и извести с последующим смешиванием с заполнителями и водой.

Для пластически формуемых композиций применялась тепловлажностная обработка при атмосферном давлении. Для прессованных материалов использовалось одностороннее прессование с последующей тепловлажностной либо автоклавной обработкой. Прочность определялась по результатам испытаний на сжатие и изгиб, плотность - по массе и объёму образцов, долговечность - по водостойкости, морозостойкости и устойчивости к циклам увлажнения-сушки.

ВЛИЯНИЕ УСКОРИТЕЛЕЙ ТВЕРДЕНИЯ

Первым направлением повышения прочности было введение ускорителей твердения. В качестве добавок использовались хлорид кальция, хлорид натрия и гипс. Результаты показали, что данные добавки способны существенно увеличить прочность известково-цеолитного камня после тепловлажностной обработки. Наиболее рациональными можно считать дозировки 3 % NaCl, 5 % CaCl₂ и 5 % CaSO₄·2H₂O.

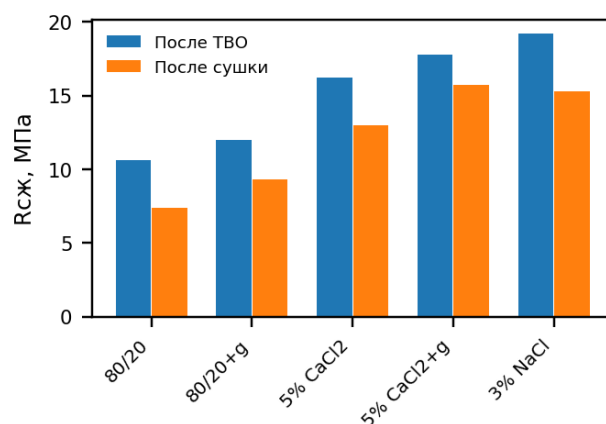


Рис. 1. Влияние химических добавок на прочность известково-цеолитного камня.

Рост прочности объясняется ускорением процессов растворения и кристаллизации гидратных новообразований. Гипс, кроме ускорения раннего твердения, участвует в формировании гидросульфоалюминатных фаз, которые уплотняют структуру камня.

ПЛАСТИФИКАЦИЯ И ЗАМЕНА ЧАСТИ ВЯЖУЩЕГО ЦЕМЕНТОМ

Вторым технологическим приёмом стало снижение водопотребности за счёт суперпластификатора СП-1. Для известково-цеолитного вяжущего рациональная область содержания добавки выше, чем для цементных систем, и составляет примерно 1,5-2,5 % от массы вяжущего. Увеличение дозировки СП-1 повышает плотность структуры и прочность, однако чрезмерное количество добавки делает смесь вязкой и затрудняет её переработку.

где Q - содержание СП-1, %. Полученная зависимость показывает, что пластификация является эффективным способом повышения прочности без резкого изменения минерального состава вяжущего.

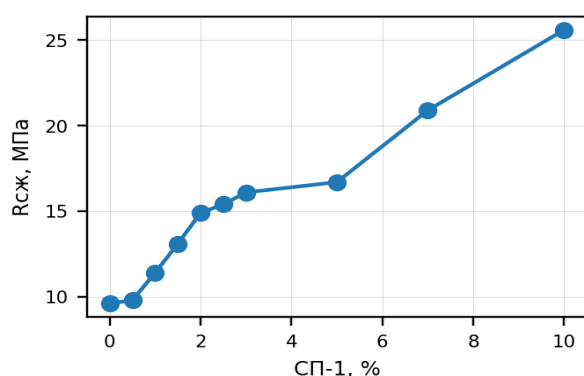


Рис. 2. Зависимость прочности от количества суперпластификатора СП-1.
 $R_{сж} = 1,546Q + 10,35$; $r = 0,954$.

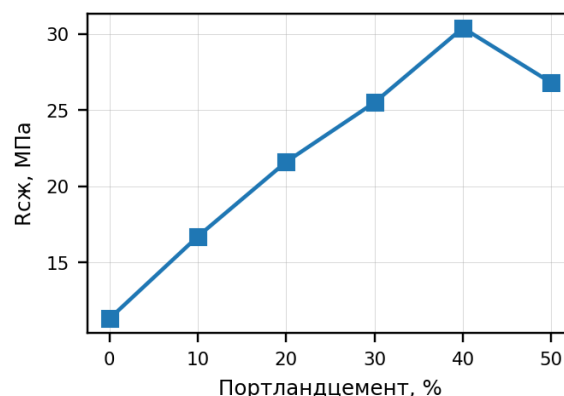


Рис. 3. Влияние частичной замены вяжущего портландцементом на прочность.

Частичная замена известково-цеолитного вяжущего портландцементом повышает прочность и морозостойкость. Уже при 20 % портландцемента прочность после тепловлажностной обработки достигает 21,6 МПа, а при 40 % - 30,4 МПа. В пределах исследованного диапазона зависимость прочности от количества цемента описывается уравнением:

$$R_{сж} = 0,35Ц + 13,35; \quad r = 0,929$$

Таблица 1

Влияние портландцемента на свойства пластифицированного вяжущего

ПЦ, %	В/Т, %	Рсж, МПа	ρ, кг/м ³
0	15,6	11,3	1840
10	15,6	16,7	1905
20	13,8	21,6	1955
30	12,8	25,5	2010
40	11,8	30,4	2030
50	10,9	26,8	2065

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ И ВИБРОПРЕССОВАННЫЕ БЛОКИ

Собственная прочность известково-цеолитного вяжущего делает его особенно рациональным для лёгких бетонов на пористых заполнителях. В качестве заполнителя применялся керамзит, предварительно разделённый на фракции 0-5, 5-10 и 10-20 мм. Экспериментальные данные показывают возможность получения керамзитобетонов марок М50-75 без обязательного введения суперпластификаторов.

Для повышения морозостойкости лёгких бетонов целесообразно вводить около 50 кг/м³ портландцемента. Это улучшает водостойкость и снижает риск разрушения контактной зоны между цементирующей частью и пористым заполнителем.

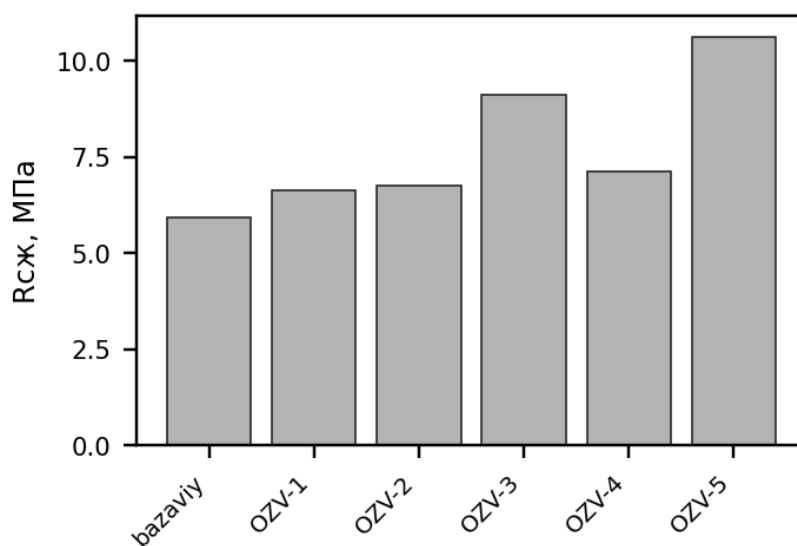


Рис. 4. Прочность вибропрессованных керамзитобетонных блоков при замене части цемента известково-цеолитным вяжущим.

Дополнительное преимущество технологии состоит в том, что в составе лёгких бетонов можно использовать не только тонкоизмельчённый цеолит, но и мелкую фракцию цеолитовой породы, проходящую через сито 1,25 мм. Это важно на начальной стадии освоения месторождения, когда полный перерабатывающий комплекс ещё не введён в эксплуатацию.

Вибропрессование позволяет уплотнить структуру материала и уменьшить воздушную усадку. При замене 15-45 % цементного вяжущего известково-цеолитным прочность керамзитобетонных блоков после тепловлажностной обработки увеличивалась на 20-70 %, а коэффициент морозостойкости после 25 циклов достигал 1,089 против 0,812 у контрольного состава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Ускорители твердения NaCl, CaCl₂ и гипс повышают прочность известково-цеолитного камня до 15-20 МПа после тепловлажностной обработки.
2. Суперпластификатор СП-1 уменьшает водопотребность и повышает прочность камня в 1,5-2 раза; рациональная область содержания добавки составляет 1,5-2,5 %.
3. Частичная замена известково-цеолитного вяжущего портландцементом позволяет получить камень прочностью до 30 МПа и повысить морозостойкость.
4. На основе известково-цеолитных композиций возможно производство керамзитобетонных марки М50-75 и вибропрессованных стеновых блоков с повышенной долговечностью.
5. Разработанные технологические решения ориентированы на использование местного сырья Бельтауского месторождения и снижение материалоемкости стеновых изделий.

Список литературы

- [1]. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
- [2]. ГОСТ 7025-91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
- [3]. ГОСТ 25094-82. Добавки активные минеральные. Методы испытаний.
- [4]. ГОСТ 9179-77. Известь строительная. Технические условия.
- [5]. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. 2nd ed. London: Thomas Telford, 1997.
- [6]. Breck D.W. Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use. New York: Wiley, 1974.
- [7]. Организационно-технологическое проектирование производства стеновых материалов на минеральных вяжущих.

UDC 691.327.3:620.17:536.2

INFLUENCE OF KOYTASH WOLLASTONITE FINENESS AND INITIAL CURING REGIME ON MOISTURE-RELATED PERFORMANCE OF NON-AUTOCCLAVED CEMENT-FLY ASH FOAM CONCRETE

Khamrayev J.A.

Karakalpak state university, Karakalpakstan, Uzbekistan

*Corresponding author, e-mail: javlonkhamraev@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2379-8786>

(Received on September 3rd, 2026)

Abstract. This paper evaluates the effect of Koytash (Jizzakh) wollastonite fineness and early curing regime on the moisture-related performance of non-autoclaved cement-fly ash foam concrete. Unlike conventional strength-oriented modification, the study focuses on dimensional stability, water absorption and thermal conductivity under moisture exposure. Wollastonite powder with a specific surface of 200-450 m²/kg was introduced at 0.5-2.0% of binder mass. Four initial curing regimes were compared: open-air curing, 48 h film covering, 7 d humid curing and 7 d sealed curing. The optimum system was obtained at 1.25% wollastonite with a specific surface near 320 m²/kg combined with humid curing for 7 days. In this case 28-day compressive strength increased from 1.38 to 2.00 MPa, drying shrinkage decreased from 1.02 to 0.74 mm/m, and water absorption decreased from 31 to 24%. The results show that controlled moisture retention in the first days is as important as mineral modification for obtaining stable thermal-insulating foam concrete in dry-climate conditions.

Keywords: non-autoclaved foam concrete; cement-fly ash binder; Koytash wollastonite; curing regime; drying shrinkage; water absorption; thermal conductivity; lightweight concrete.

Аннотация. В статье исследовано влияние тонкости помола койташского волластонита и начального режима твердения на влаговзависимые свойства неавтоклавногo цементно-зольного пенобетона. В отличие от подхода, ориентированного только на прочность, основное внимание уделено стабильности размеров, водопоглощению и теплопроводности при

увлажнении. Волластонит с удельной поверхностью 200-450 м²/кг вводили в количестве 0,5-2,0% от массы вяжущего. Сравнивались четыре режима начального твердения: открытое воздушное хранение, укрытие пленкой 48 ч, влажное твердение 7 сут и герметичное хранение 7 сут. Оптимальный результат получен при 1,25% волластонита с удельной поверхностью около 320 м²/кг и влажном твердении в течение 7 сут.

Ключевые слова: неавтоклавный пенобетон; цементно-зольное вяжущее; койташский волластонит; режим твердения; усадка; водопоглощение; теплопроводность; легкий бетон.

Annotatsiya. Maqolada Ko'ytosh (Jizzax) vollastonitining maydalik darajasi va dastlabki qotish-parvarish rejimini avtoklavsiz sement-kulli ko'pikbetonning namlikka bog'liq xossalari ta'siri o'rganildi. Tadqiqotda faqat mustahkamlik emas, balki kirishish, suv shimuvchanlik va nam holatdagi issiqlik o'tkazuvchanlik ko'rsatkichlari baholandi. Vollastonit 0,5-2,0% miqdorda qo'llanildi, uning solishtirma yuzasi 200-450 m²/kg oralig'ida o'zgartirildi. Eng maqbul natija 1,25% vollastonit va 7 sutkalik nam qotirish rejimida olindi.

Kalit so'zlar: avtoklavsiz ko'pikbeton; sement-kulli bog'lovchi; Ko'ytosh vollastoniti; qotirish rejimi; kirishish; suv shimuvchanlik; issiqlik o'tkazuvchanlik; yengil beton.

1. Introduction

Non-autoclaved foam concrete is widely considered a practical thermal-insulating material for low-rise construction and envelope systems. Its low density is formed by a system of air pores, while its engineering reliability depends on the integrity of the interpore partitions. In dry and hot climates, including many regions of Uzbekistan, the early loss of mixing water is intensified by high solar radiation, wind and low relative humidity. As a result, foam concrete may develop increased drying shrinkage, capillary cracking and higher moisture sensitivity of thermal conductivity.

Previous optimization of cement-fly ash foam concrete often focused on the balance between density and compressive strength. However, the long-term efficiency of a thermal-insulating material depends not only on dry density, but also on the degree to which the pore system remains closed and resistant to moisture transport. Water accumulated in open capillaries increases heat transfer considerably because the thermal conductivity of water is much higher than that of air. Therefore, reducing open capillary porosity and limiting early shrinkage are essential design criteria.

Koytash wollastonite is a local calcium silicate mineral that can be used as a fine mineral modifier. Its chain-like morphology and chemical affinity with cement hydration products suggest two useful functions: microfilling of capillary defects and promotion of a denser calcium-silicate-hydrate framework. The efficiency of wollastonite in foam concrete, however, depends on fineness. Coarse particles may act only as inert filler, whereas excessively fine particles may increase water demand and destabilize foam films. A controlled curing regime is therefore required to reveal the beneficial effect of the modifier.

The purpose of this study is to determine how wollastonite fineness and initial moisture-retaining curing influence the strength, shrinkage, water absorption and moisture-dependent thermal conductivity of non-autoclaved cement-fly ash foam concrete. The investigated direction differs from fiber-reinforced composition design: it concentrates on the interaction between a dispersed mineral modifier, early curing and moisture-related service behavior.

2. Materials and Methods

The binder system consisted of Portland cement CEM I and fly ash. Fly ash was used as a fine aluminosilicate component and partial replacement of cement, improving packing density and reducing cement consumption. Koytash wollastonite was introduced as a ground calcium silicate modifier. A protein-based foaming agent was used to obtain a stable technical foam. The mixtures were designed for a target dry density of approximately 500-560 kg/m³, which is suitable for thermal-insulating foam concrete used in wall envelopes and filling layers.

Table 1.

Raw materials and functions in the investigated system.

Material	Controlled parameter	Function in the mixture
Portland cement	Normal consistency and strength class	Hydraulic binder and early structural strength
Fly ash	Fineness and loss on ignition	Fine aluminosilicate filler and pozzolanic component
Koytash wollastonite	Specific surface: 200, 320 and 450 m ² /kg	Microfiller and calcium-silicate nucleation substrate
Protein foaming agent	2.5% working solution; foam density 55-65 kg/m ³	Formation of stable cellular structure
Water	pH and hardness controlled	Hydration medium and foam solution

The base mixture had a cement-to-fly ash mass ratio of 1.00:0.60 and a water-to-solid ratio of 0.49. Wollastonite was added at 0, 0.5, 1.0, 1.25, 1.5 and 2.0% of binder mass. For the fineness study, a dosage of 1.25% was kept constant and wollastonite powders with specific surfaces of approximately 200, 320 and 450 m²/kg were compared. Foam concrete was prepared by a two-stage method: technical foam was produced separately and then gently mixed with the mineral paste. Vibration was not used during casting in order to preserve the cellular system.

Table 2.

Experimental factors and levels.

Factor	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Wollastonite dosage, % of binder	0	0.5-1.0	1.25-1.5	2.0
Wollastonite specific surface, m ² /kg	200	320	450	-
Initial curing regime	Open air	Film covering 48 h	Humid curing 7 d	Sealed curing 7 d
Testing age, days	7	28	90	-

Four curing regimes were investigated. The open-air regime simulated unfavorable dry curing at 20±2°C and 45±5% relative humidity. The film-covered regime limited evaporation during the first 48 h and then continued in air. The humid regime maintained samples at high humidity for 7 days and then in laboratory air. The sealed regime prevented moisture loss for 7 days using polyethylene wrapping. These regimes were selected to evaluate the role of early water retention in forming stable inter-pore partitions.

Fresh mixture stability was assessed by settlement after 60 min, signs of segregation and foam stability index. Hardened properties were determined after drying to constant mass: dry density, compressive strength, thermal conductivity, water absorption and drying shrinkage. Thermal conductivity was also estimated for samples with 5 and 10% moisture content to quantify service sensitivity. Each value in the tables represents the average of at least three specimens; the scatter of compressive strength did not exceed 8% for optimized mixtures.

3. Results and Discussion

3.1. Effect of wollastonite dosage on strength and shrinkage

The dosage study showed a non-linear response. Small additions of wollastonite increased compressive strength and decreased shrinkage because the powder filled capillary defects and promoted a more continuous hydration product network. The optimum was found at 1.25% of

binder mass. At this dosage the 28-day strength reached 1.92 MPa, while shrinkage decreased to 0.81 mm/m. Further increase to 2.0% reduced the positive effect: the fresh paste became more water-demanding, and local particle agglomeration increased the risk of pore-wall defects.

Table 3.
Influence of wollastonite dosage on foam concrete cured under humid regime for 7 days.

Wollastonite, %	Dry density, kg/m ³	Strength 28 d, MPa	λ dry, W/(m·K)	Water absorption, %	Shrinkage 28 d, mm/m
0	558	1.30	0.135	32.0	1.12
0.5	552	1.55	0.132	29.0	0.98
1	546	1.78	0.129	27.0	0.88
1.2	540	1.92	0.126	25.0	0.81
1.5	538	1.90	0.127	25.5	0.84
2	545	1.75	0.130	28.0	0.93

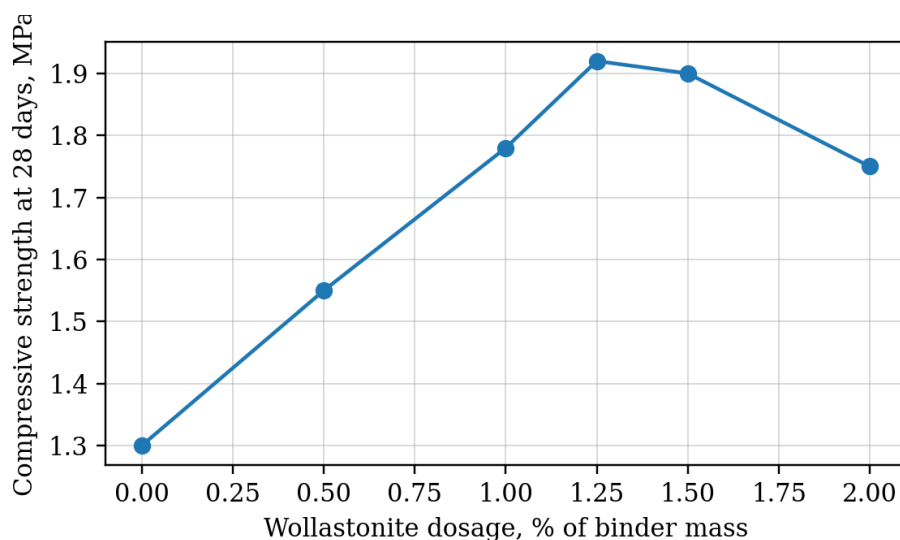


Figure 1. Effect of wollastonite dosage on compressive strength at 28 days.

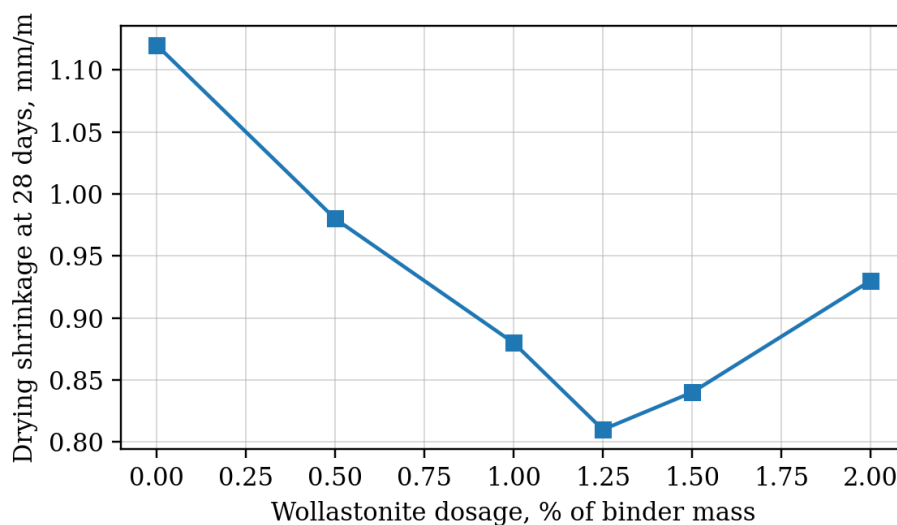


Figure 2. Effect of wollastonite dosage on drying shrinkage at 28 days.

3.2. Role of grinding fineness

The fineness of wollastonite changed the balance between microfilling and workability. The powder with a specific surface of 200 m²/kg was less efficient because the number of active particle surfaces was insufficient for a strong nucleation and pore-wall stabilization effect. The finest powder, 450 m²/kg, provided high surface activity but increased water demand and slightly reduced foam retention. The best technological window corresponded to approximately 320 m²/kg, where settlement was 5.5 mm after 60 min, the stability index was 0.95, and water absorption fell to 25.0%.

Table 4.

Effect of wollastonite fineness at constant dosage of 1.25%.

Specific surface, m ² /kg	Settlement 60 min, mm	Foam stability index	Strength 28 d, MPa	Water absorption, %	Shrinkage 28 d, mm/m
200	8.5	0.91	1.74	27.0	0.89
320	5.5	0.95	1.92	25.0	0.81
450	6.7	0.94	1.86	26.2	0.85

The obtained values confirm that the modifier should not be evaluated only by mineralogical composition. A calcium silicate powder can stabilize foam concrete only when its granulometric state is compatible with the foam films and the cement-fly ash paste. For practical production, a specific surface close to 300-350 m²/kg can be recommended as a reproducible and energy-efficient grinding target.

3.3. Influence of initial curing regime

The curing regime had a strong influence on both control and modified mixtures. Open-air curing gave the lowest strength and the highest shrinkage because evaporation occurred before the cement-fly ash matrix obtained sufficient rigidity. Film covering for 48 h improved the situation, but the best result was obtained by humid curing for 7 days. In the optimized mixture with 1.25% W-320, humid curing increased 28-day strength to 2.00 MPa and reduced shrinkage to 0.74 mm/m. Sealed curing was also effective, although slightly less favorable than humid curing because it limited evaporation but did not provide external moisture for continued hydration.

Table 5.

Influence of curing regime on control and optimized foam concrete.

Curing regime	Mixture	Strength 7 d, MPa	Strength 28 d, MPa	Water absorption, %	Shrinkage 28 d, mm/m
Open air	Control	0.62	1.10	36.0	1.48
Open air	1.25% W-320	0.90	1.52	31.0	1.10
Film 48 h	Control	0.76	1.25	33.0	1.25
Film 48 h	1.25% W-320	1.02	1.75	27.0	0.92
Humid 7 d	Control	0.88	1.38	31.0	1.02
Humid 7 d	1.25% W-320	1.18	2.00	24.0	0.74
Sealed 7 d	Control	0.84	1.34	31.5	1.06
Sealed 7 d	1.25% W-320	1.15	1.94	24.5	0.78

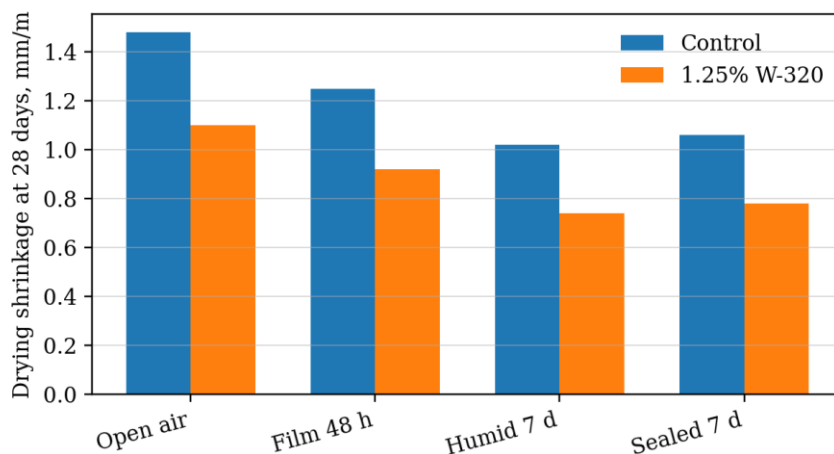


Figure 3. Drying shrinkage of control and optimized compositions under different curing regimes.

The results indicate that mineral modification and curing are complementary factors. Wollastonite improves the microstructure, but the hydrated framework cannot fully develop if capillary water is removed too early. Therefore, for dry-climate construction practice, the first 48 h should be treated as a critical technological period, and 7-day moisture retention is preferable for products intended to operate as thermal-insulating layers.

3.4. Moisture sensitivity of thermal conductivity

Dry thermal conductivity decreased with increasing wollastonite dosage up to the optimum zone. More important for service performance, however, was the change in thermal conductivity under moisture exposure. The control mixture showed the highest increase after wetting because it had the highest water absorption and open capillary fraction. The optimized 1.25% W-320 mixture had the lowest thermal conductivity at 5 and 10% moisture, which confirms that the modifier reduced the ability of the pore system to retain liquid water.

Table 6.

Thermal conductivity under different moisture states.

Mixture	Water absorption, %	λ dry, W/(m·K)	λ at 5% moisture	λ at 10% moisture	Increase at 10%, %
Control	32.0	0.135	0.178	0.220	63.0
W-0.75	29.0	0.132	0.169	0.208	57.6
W-1.25	25.0	0.126	0.158	0.193	53.2
W-1.75	25.5	0.127	0.161	0.197	55.1

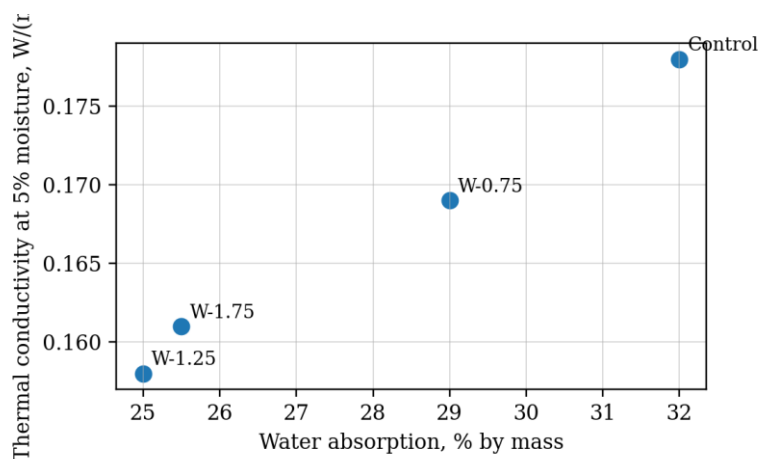


Figure 4. Relationship between water absorption and thermal conductivity at 5% moisture content.

The correlation shown in Figure 4 demonstrates that the moisture behavior of foam concrete is controlled by more than dry density. In samples with similar density, lower water absorption led to lower thermal conductivity at equal moisture content. This can be explained by the transition from open capillary pores to more isolated closed pores and by densification of interpore partitions. As a result, the optimized mixture not only has better dry properties but also retains its insulating efficiency more reliably in realistic moisture conditions.

4. Conclusions

1. Koytash wollastonite can improve non-autoclaved cement-fly ash foam concrete when its fineness and early curing regime are jointly controlled. The optimum dosage was 1.25% of binder mass; higher dosage did not provide additional benefit because water demand and particle agglomeration increased.

2. A specific surface near 320 m²/kg produced the best balance between foam stability, strength and water absorption. Coarser wollastonite was less active, while excessively fine powder slightly reduced technological stability.

3. Initial curing significantly affected the final quality. Humid curing for 7 days increased the 28-day strength of the optimized mixture to 2.00 MPa and reduced drying shrinkage to 0.74 mm/m. Open-air curing gave the poorest dimensional stability and should be avoided for lightweight foam concrete in dry climates.

4. Moisture-related thermal conductivity depended strongly on water absorption. The optimized wollastonite-modified mixture reduced dry thermal conductivity to 0.126 W/(m·K) and had the lowest value under 5-10% moisture content, confirming the practical value of pore-system stabilization.

5. For production practice, the recommended technological window is 1.0-1.5% Koytash wollastonite with specific surface 300-350 m²/kg, protein foaming agent solution of 2.5%, water-to-solid ratio around 0.49 and moisture-retaining curing for at least the first 48 h, preferably 7 days.

References

- [1]. Neville A. M. Properties of Concrete. Pearson Education, 2011.
- [2]. Ramamurthy K., Nambiar E. K. K., Ranjani G. I. S. A classification of studies on properties of foam concrete. Cement and Concrete Composites, 2009, 31(6), 388-396.
- [3]. Jones M. R., McCarthy A. Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material. Magazine of Concrete Research, 2005, 57(1), 21-31.
- [4]. Narayanan N., Ramamurthy K. Structure and properties of aerated concrete: a review. Cement and Concrete Composites, 2000, 22(5), 321-329.
- [5]. Bentur A., Mindess S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. Taylor & Francis, 2007.
- [6]. Bentz D. P., Aitcin P. C. The hidden meaning of water-cement ratio. Concrete International, 2008, 30(5), 51-54.
- [7]. Kearsley E. P., Wainwright P. J. The effect of porosity on the strength of foamed concrete. Cement and Concrete Research, 2002, 32(2), 233-239.
- [8]. Taylor H. F. W. Cement Chemistry. Thomas Telford, 1997.

MONOLIT VA YIG'MA-MONOLIT FUQAROLIK BINOLARINING EKSPLOATATSION SIFATLARINI KOMPLEKS OSHIRISHGA TASHKILIY-TEXNOLOGIK YONDASHUV

Sh.A. Ibraximov

Toshkent arxitektura qurilish universiteti, Toshkent, O'zbekiston

*Mas'ul muallif, e-mail: shuxratibraximov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0345-2573>

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya. Maqolada Toshkent shahri sharoitida monolit va yig'ma-monolit fuqarolik binolarining ekspluatatsion sifatlarini kompleks oshirish masalasi ko'rib chiqildi. Tadqiqotda ekspluatatsion sifatlar bino hayotiy sikli ishtirokchilari faoliyati natijasida shakllanadigan, xavfsiz, qulay va iqtisodiy samarali foydalanishni ta'minlaydigan o'zaro bog'langan ko'rsatkichlar majmuasi

sifatida talqin qilindi. Sifat ko'rsatkichlarini investitsion va muhandislik-funksional guruhlarga ajratish, grafoanalitik tahlil yordamida ustuvor parametrlarni aniqlash, qurilish nazorati va texnologik tayyorgarlikni yagona boshqaruv zanjiriga birlashtirish zarurligi asoslandi. Natijada loyiha, qurilish va ekspluatatsiya bosqichlarida ishtirokchilar mas'uliyatini aniqlashtiruvchi hamda chek-list, foto-fiksatsiya, instrumental o'lchash va oraliq qabul qilishni birlashtiruvchi tashkiliy-texnologik model taklif etildi.

Kalit so'zlar: monolit bino, yig'ma-monolit bino, ekspluatatsion sifat, hayotiy sikl, grafoanalitik tahlil, qurilish nazorati, texnologik xarita, Toshkent, seysmik hudud, sifatni boshqarish.

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос комплексного повышения эксплуатационных свойств монолитных и сборно-монолитных гражданских зданий в условиях города Ташкента. В исследовании эксплуатационные свойства трактуются как совокупность взаимосвязанных показателей, формируемых в результате деятельности участников жизненного цикла здания и обеспечивающих его безопасную, комфортную и экономически эффективную эксплуатацию. Обоснована необходимость разделения показателей качества на инвестиционные и инженерно-функциональные группы, определения приоритетных параметров с помощью графоаналитического анализа, а также объединения строительного контроля и технологической подготовки в единую цепь управления. В результате предложена организационно-технологическая модель, которая уточняет ответственность участников на этапах проектирования, строительства и эксплуатации, а также объединяет чек-листы, фотофиксацию, инструментальные измерения и промежуточную приёмку.

Ключевые слова: монолитное здание, сборно-монолитное здание, эксплуатационные свойства, жизненный цикл, графоаналитический анализ, строительный контроль, технологическая подготовка, Ташкент, сейсмическая зона, управление качеством.

Abstract. The article considers the integrated improvement of operational qualities of monolithic and precast-monolithic civil buildings under the conditions of Tashkent. Operational quality is interpreted as a set of interrelated indicators formed by life-cycle participants and expressed through safe, comfortable and cost-effective use of a building. The paper substantiates the separation of indicators into investment and engineering-functional groups, the use of graph-analytical analysis for identifying priority parameters, and the need to integrate design, construction control and technological preparation into a unified management chain. As a result, an organizational and technological model is proposed. It clarifies the responsibilities of participants at the design, construction and operation stages and combines checklists, photographic recording, instrumental measurements and intermediate acceptance procedures.

Keywords: monolithic building, precast-monolithic building, operational quality, life cycle, graph-analytical analysis, construction control, technological method statement, Tashkent, seismic region, quality management.

KIRISH

Toshkent shahri va respublikaning boshqa yirik shaharlarida ko'p qavatli turar-joy hamda jamoat binolarini barpo etish sur'atlari ortib bormoqda. Amaliyotda monolit va yig'ma-monolit temirbeton karkasli tizimlar keng qo'llanadi, chunki ular me'moriy erkinlik, qurilish tezligi, konstruktiv uzluksizlik va sanoatlashtirish imkoniyatlarini birlashtiradi. Shu bilan birga, seysmik faollik, keskin kontinental iqlim, qurilish maydonlarining torligi va shaharsozlik zichligi bunday binolarning ekspluatatsion sifatlariga qo'yiladigan talablarni kuchaytiradi.

Ekspluatatsion sifatlarni alohida ko'rsatkichlar bo'yicha yaxshilash ko'pincha kutilgan natijani bermaydi. Masalan, tashqi devor qatlamlarida yoriqlanishni kamaytirish faqat material tanlash masalasi emas; u loyihaviy tugun, montaj ketma-ketligi, operativ nazorat, yashirin ishlarni rasmiylashtirish va keyingi ekspluatatsiya reglamenti bilan birga ko'rib chiqilgandagina barqaror natija beradi. Shuning uchun muammo bino hayotiy siklining barcha bosqichlarini qamrab oluvchi tashkiliy-texnologik yondashuvni talab qiladi.

Mazkur maqolaning maqsadi - monolit va yig'ma-monolit fuqarolik binolarining ekspluatatsion sifatlarini kompleks oshirish uchun ko'rsatkichlarni tizimlashtirish, ustuvor parametrlarni aniqlash hamda qurilish nazorati va texnologik tayyorgarlik bilan bog'langan amaliy modelni bayon qilishdir.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Qurilish jarayonlarini tashkil etish va texnologiyasini takomillashtirish, sifatni boshqarish hamda bino ishonchliligini ta'minlash masalalari mahalliy va xorijiy tadqiqotlarda keng yoritilgan. Bu yo'nalishda A.A. Afanasev, A.X. Bayburin, S.A. Bolotin, Yu.P. Panibratov, V.I. Telichenko, A.A. Lapidus va boshqa olimlarning ishlari muhim metodik asos bo'lib xizmat qiladi [1,2]. Binolarni hisobiy-eksperimental asoslash, mustahkamlik va xavfsizlikka doir yondashuvlarda esa ishonchlilik nazariyasi hamda konstruktsiyalar xavfsizligi bo'yicha me'yoriy talablar markaziy o'rin tutadi [6,7,9].

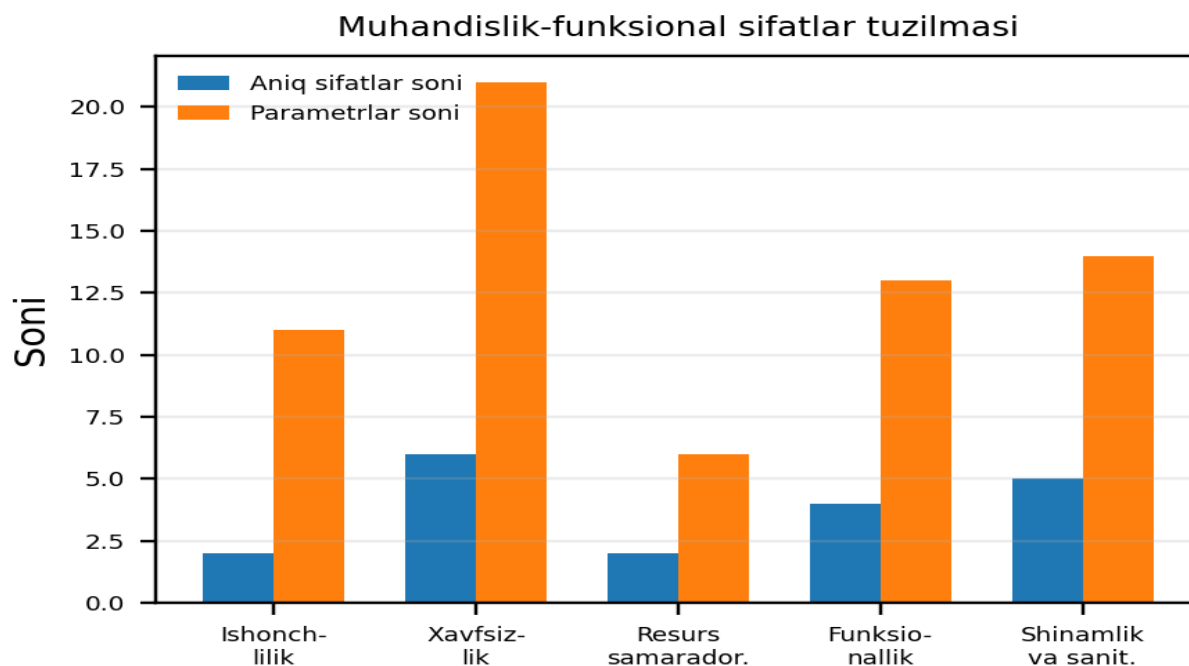
Monolit va yig'ma-monolit tizimlarning ustunligi ularning konstruktiv uzluksizligi, montaj sur'ati, fazoviy qattiqligi va bozordagi moslashuvchanligi bilan bog'liq. Biroq bunday tizimlarda ekspluatatsion sifatlari faqat beton mustahkamligi yoki armatura joylashuvi bilan cheklanmaydi; geometriya aniqligi, choklarning yaxlitligi, beton parvarishi, muhandislik tizimlari va tashqi to'siq konstruktsiyalarining namlik-issiqlik rejimi ham muhimdir [3,5].

O'zbekiston sharoitida energiya samaradorlik, seysmik xavfsizlik, yong'in xavfsizligi va texnik jihatdan tartibga solish bo'yicha talablar ekspluatatsion sifatlarning majburiy normativ chegaralarini belgilaydi [4,5,6,7,8]. Shu bilan birga, real qurilish jarayonida sifatni faqat yakuniy qabul qilish orqali emas, balki kirish nazorati, operativ nazorat, oraliq qabul qilish va foto-fiksatsiya yordamida boshqarish zarur.

EKSPLOATATSION SIFATLARNI TIZIMLASHTIRISH

Fuqarolik binosining ekspluatatsion sifatlari deganda binoning hayotiy sikli ishtirokchilari faoliyati natijasida shakllanadigan va undan xavfsiz, qulay hamda tejamkor foydalanishda namoyon bo'ladigan o'zaro bog'langan ko'rsatkichlar majmuasi tushuniladi. Bunday talqin sifatni faqat konstruktiv ko'rsatkichlar bilan emas, balki investor, loyihachi, pudratchi, qurilish nazorati va ekspluatatsiya xizmati manfaatlari bilan birgalikda ko'rib chiqishga imkon beradi.

Tadqiqotda ekspluatatsion sifatlari ikki yirik guruhga ajratildi: investitsion ekspluatatsion sifatlari va muhandislik-funksional ekspluatatsion sifatlari. Birinchi guruh loyihalash, qurilish materiallari, qurilish-montaj ishlari, yer, kredit va muhandislik tarmoqlariga ulanish xarajatlari bilan bog'liq. Ikkinchi guruh esa binoning ishonchliligi, xavfsizligi, resurs samaradorligi, funktsionalligi, shinamligi va sanitariya holatini ifodalaydi.



1-rasm. Muhandislik-funksional ekspluatatsion sifatlari bloklari bo'yicha ko'rsatkichlari taqsimoti.

Jadval 1

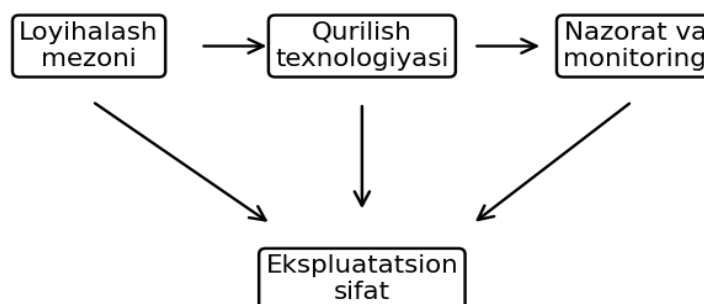
Monolit va yig'ma-monolit binolarda muhandislik-funksional ekspluatatsion sifatlarning asosiy bloklari

Integral sifat bloki	Mazmuni	Amaliy nazorat qilinadigan parametrlar
Ishonchlilik	Konstruksiyalarning buzilmasdan ishlashi va xizmat muddati davomida barqarorligini ta'minlash.	Beton mustahkamligi, deformativlik, yoriq kengligi, himoya qatlami, armatura joylashuvi, ta'mirlash oralig'i.
Xavfsizlik	Yong'in, seysmik, mexanik va foydalanuvchi xavfsizligiga oid talablarni bajarish.	Olovbardoshlik chegarasi, evakuatsiya sharoiti, seysmohimoya, progressiv qulashga qarshilik, elektr xavfsizligi.
Resurs samaradorligi	Energiya va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish hamda xizmat ko'rsatish qulayligini oshirish.	Isitish va shamollatish uchun energiya sarfi, elektr energiyasi sarfi, ta'mirlash xarajatlari, muhandislik uskunalarini saqlash.
Funksionallik	Bino rejalashtirish yechimi, muhandislik tizimlari, shahar muhitidagi joylashuv va foydalanish qulayligi.	Zonalashtirish, MGN uchun qulaylik, to'xtash joylari, muhandislik tizimlari texnik darajasi, infratuzilma.
Shinamlik va sanitariya	Ichki muhit sifati, namlik-issiqlik rejimi, yoritilganlik, germetiklik, havo va suv sifati.	Nisbiy namlik, sirt harorati, insolyatsiya, chok zichligi, havo almashinuvi, shovqindan himoya.

KOMPLEKS YONDASHUV MODEL I

Kompleks yondashuvning mohiyati ekspluatatsion sifatlarni hayotiy sikl bosqichlari bo'yicha boshqarishdan iborat. Model to'rtta asosiy bosqichni o'z ichiga oladi. Birinchi bosqichda sifatlar massivi strukturaviy ajratiladi; ikkinchi bosqichda grafoanalitik tahlil orqali tugunli sifatlar va asosiy parametrlar aniqlanadi; uchinchi bosqichda hayotiy sikl ishtirokchilarining taqsimlangan o'zaro ta'siri baholanadi; to'rtinchi bosqichda konstruktiv va tashkiliy-texnologik yechimlar ishlab chiqilib, sinovdan o'tkaziladi va amaliyotga joriy etiladi.

Kompleks yondashuvda taqsimlangan boshqaruv



2-rasm. Ekspluatatsion sifatlarni kompleks oshirishning taqsimlangan boshqaruv modeli.

Grafoanalitik tahlil muhandislik-funksional sifatlar o'rtasidagi bog'liqliklarni ko'rsatishga xizmat qiladi. Bunday yondashuv deformativlik, reja-balandlik holatining aniqligi, armatura va qo'yilma detallar joylashuvi, beton himoya qatlami, ta'mirlash oralig'i hamda muhandislik tizimlarining texnik darajasi kabi parametrlarni ustuvor yo'nalish sifatida ajratish imkonini beradi.

Taqsimlangan o'zaro ta'sir tamoyili har bir ishtirokchi faqat o'z bosqichida alohida ishlamasdan, sifat ko'rsatkichini yaxshilashda boshqa ishtirokchilar bilan bog'langan holda harakat qilishi kerakligini anglatadi. Masalan, tashqi devor ankerini ishonchli o'rnatish loyihachining tugun yechimi, pudratchining burg'ilash va o'rnatish texnologiyasi, qurilish nazoratining operativ tekshiruvi hamda ekspluatatsiya xizmatining monitoringi bilan uzviy bog'liq.

Jadval 2

Ekspluatatsion sifatlarni kompleks oshirish modelining bosqichlari

Bosqich	Mazmuni	Kutiladigan natija
1.Sifatlarni strukturaviy ajratish	Investitsion va muhandislik-funksional sifatlar, integral sifatlar, aniq sifatlar va parametrlar iyerarxiyasi shakllantiriladi.	Baholash mezonlari yagona tizimga keltiriladi.
2.Ustuvor parametrlarni aniqlash	Grafoanalitik tahlil yordamida tugunli sifatlar va asosiy parametrlar ajratiladi.	Resurslar eng muhim texnologik nuqtalarga yo'naltiriladi.
3.Ishtirokchilar o'zaro ta'sirini baholash	Loyihachi, pudratchi, ishlab chiqaruvchi, qurilish nazorati va ekspluatatsiya xizmati rollari tahlil qilinadi.	Mas'uliyat zonalari va hamkorlik mexanizmlari aniqlanadi.
4.Joriy etish va monitoring	Texnologik xarita, chek-list, instrumental o'lchash, foto-fiksatsiya va oraliq qabul qilish tartibi joriy qilinadi.	Nuqsonlarning takrorlanishi kamayadi, sifat barqarorlashadi.

QURILISH NAZORATIDA BAHOLASH ISHONCHLILIGI

Monolit konstruksiyalar sifatini baholashda faqat hujjatlar ro'yxatini yuritish yetarli emas. Reja-balandlik holati, beton himoya qatlami, yoriqlar kengligi, armatura joylashuvi va choklarning yaxlitligi kabi parametrlar instrumental o'lchash va vizual ekspertiza bilan tasdiqlanishi zarur. Shu sababli qurilish nazoratida ro'yxatga olish, tanlab instrumental o'lchash va ekspert baholashni birgalikda qo'llash maqsadga muvofiq.

Toshkent sharoitida sifat nazoratining ishonchliligini oshirish uchun quyidagi ketma-ketlik tavsiya etiladi: material va buyumlarni kirish nazoratidan o'tkazish; ish boshlanishidan oldin texnologik karta va chek-listlarni tasdiqlash; murakkab tugunlarni pilot uchastkada sinash; yashirin ishlarni foto-fiksatsiya qilish; oraliq qabul qilishda geodezik va laborator tekshiruvlarni bajarish; ekspluatatsiya bosqichiga tugun pasportlari va servis reglamentlarini topshirish.

Sifatni jarayonning o'zida boshqarish yakuniy nuqsonlarni bartaraf etishga qaraganda iqtisodiy jihatdan samaraliroqdir. Masalan, qolip geometriyasini beton quyishdan oldin tekshirish, beton parvarish rejimini yozgi issiqda oldindan rejalashtirish yoki tashqi devor ankerlarini o'rnatish chuqurligini vaqtida nazorat qilish keyingi yoriqlanish va pardo nuqsonlarini kamaytiradi.

Jadval 3

Qurilish nazoratida tavsiya etiladigan minimal boshqaruv vositalari

Vosita	Qo'llanish sohasi	Ahamiyati
Chek-list	Armatura, qolip, betonlash, tashqi devor ankerlari, gidroizolyatsiya tugunlari.	Operatsion xatolarni standart mezonlar bo'yicha kamaytiradi.
Foto-fiksatsiya	Yashirin ishlar, armatura joylashuvi, qo'yilma detallar, choklar va tugunlar.	Keyingi ekspertiza va ekspluatatsiya xizmati uchun isbot bazasini yaratadi.
Instrumental o'lchash	Geometriya, vertikallik, himoya qatlami, deformatsiya va namlik ko'rsatkichlari.	Baholashning subyektivligini kamaytiradi.
Pilot uchastka	Yangi konstruktiv-texnologik yechim yoki materialni joriy etish bosqichi.	Vaqt me'yorlari va sifat risklarini oldindan aniqlaydi.
Oraliq qabul qilish	Keyingi ishlar bilan yopilib ketadigan texnologik bosqichlar.	Nuqsonlarni erta aniqlash va tuzatish imkonini beradi.

AMALIY MUHOKAMA

Kompleks modelni ko'p qatlamli tashqi devorlar misolida qo'llash uning amaliy ahamiyatini yaqqol ko'rsatadi. Bunday devorlarda ichki qatlam gazobeton yoki boshqa yengil bloklardan, o'rta qatlam issiqlik izolyatsiyasidan, tashqi qatlam esa qoplama g'ishtdan tashkil topishi mumkin. Qatlamlararo bog'lama elementlari noto'g'ri o'rnatilsa, tashqi qatlamning mahalliy deformatsiyasi, yoriqlanishi yoki qoplama qismlarining ajralishi xavfi ortadi.

Ushbu riskni kamaytirish uchun loyihaviy tugunlar texnologik karta bilan to'ldirilishi kerak: burg'ilash nuqtalari oldindan belgilanadi, ankerning g'isht tanasidagi barqaror zonaga tushishi nazorat qilinadi, choklarning to'ldirilishi va bog'lama qadami tekshiriladi. Bu yerda loyihachi, pudratchi va qurilish nazorati o'rtasidagi taqsimlangan hamkorlik hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Yig'ma-monolit tizimlar uchun esa innovatsion salohiyatni baholash alohida bosqich bo'lib xizmat qiladi. Yengillashtirilgan plitalar, yarim yig'ma yopmalar, slim-floor tizimlari, groutli mufta tugunlari va sanoatlashtirilgan hajmiy modullar tezlik va sifatni oshirishi mumkin. Biroq ularni seysmik hududda qo'llashda montaj toleranslari, beton quyish sifati, ulash tugunlari va nazorat imkoniyatlari oldindan baholanishi zarur.

XULOSA

1. Monolit va yig'ma-monolit fuqarolik binolarining ekspluatatsion sifatlarini Toshkent sharoitida kompleks oshirish uchun sifat ko'rsatkichlarini investitsion va muhandislik-funksional guruhlariga ajratish maqsadga muvofiq.

2. Grafoanalitik tahlil ekspluatatsion sifatlar ichidan ustuvor parametrlarni aniqlashga va resurslarni eng muhim texnologik nuqtalarga yo'naltirishga imkon beradi.

3. Qurilish nazorati ro'yxatga olish, instrumental o'lchash va ekspert baholashni birlashtirganda baholash ishonchiligi ortadi hamda sifatni jarayonning o'zida boshqarish imkoniyati kengayadi.

4. Taklif etilgan model loyihalash, qurilish va ekspluatatsiya bosqichlarida ishtirokchilar mas'uliyatini aniqlashtiradi; texnologik xaritalar, chek-listlar, foto-fiksatsiya va oraliq qabul qilish orqali nuqsonlarning takrorlanishini kamaytiradi.

Adabiyotlar

- [1]. Axmedov K. Bino va inshootlarning ko'rik tizimlari va umrboqiyligi: o'quv qo'llanma. - 2023. - 52 b.
- [2]. Abdusamatov A.A., Zakirov S.B., Abdusalomov S.S., Xasanov A.X. Sifat menejmenti tizimi va uni sertifikatlashtirish: o'quv qo'llanma. - Toshkent: "Sano-standart", 2014. - 336 b.
- [3]. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 22.11.2016 yildagi PQ-2660-son qarori "2017-2020 yillarda shaharlarda arzon ko'p kvartirali uylarni qurish va rekonstruksiya qilish dasturini amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida".
- [4]. O'zbekiston Respublikasining 27.02.2023 yildagi O'RQ-819-son "Texnik jihatdan tartibga solish to'g'risida"gi Qonuni.
- [5]. O'zbekiston Respublikasining 07.08.2024 yildagi O'RQ-940-son "Energiyani tejash, undan oqilona foydalanish va energiya samaradorligini oshirish to'g'risida"gi Qonuni.
- [6]. ShNQ 2.01.07-21 "Yuklamalar va ta'sirlar". O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi.
- [7]. ShNQ 2.01.06-25 "Seysmik hududlarda baland binolarni loyihalash". O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi.
- [8]. ShNQ 2.08.01-24 "Turar joy obyektlarini loyihalash". O'zbekiston Respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligi.
- [9]. GOST 27751-2014. Qurilish konstruksiyalari va asoslarining ishonchliligi. Asosiy qoidalar.
- [10]. Kancheli N.V. Stroitel'nye prostranstvennye konstruksii. - M.: ASV, 2003. - 112 s.
- [11]. Fomin N.I. Organizatsionno-tekhnologicheskoe obespechenie kompleksnogo povysheniya ekspluatatsionnykh kachestv monolitnykh i sborno-monolitnykh grazhdanskikh zdaniy: dis. ... kand. tekhn. nauk. - Ekaterinburg, 2021.

УДК 691.327.32

BARXAN QUMI ASOSIDA KOMPLEKS MODIFIKATSIYALANGAN TA'MIRLASH QORISHMALARINI LOYIHALASH VA TEXNOLOGIK SAMARADORLIGINI BAHOLASH

E. Ismailov*

*Urganch davlat universiteti, Xorazm, O'zbekiston**Mas'ul muallif, e-mail: erkinbayismailov@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4152-2109>*(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)*

Annotatsiya. Maqolada beton va temirbeton konstruksiyalarini ta'mirlash uchun barxan qumi asosidagi kompleks modifikatsiyalangan mayda donali beton qorishmalarini loyihalash yondashuvi ko'rib chiqildi. Tadqiqot mantiqi mahalliy nokonditsion qumni oddiy to'ldiruvchi sifatida emas, balki portlandsement, barxan qumi va S-3 superplastifikatoridan tashkil topgan mayin tuyilgan vibrofaollashtirilgan bog'lovchi komponenti sifatida qo'llash g'oyasiga tayanadi. Barxan qumining yuqori dispersligi, past yiriklik moduli va suv talabini oshirishi ta'mirlash tarkibida granulometrik boyitish, plastifikatsiya hamda polimer-mineral modifikatsiyani birgalikda tanlash zarurligini ko'rsatadi. Maqolada to'ldiruvchi turi, g'ovaklik, suv shimuvchanlik, suv-sement nisbati, 3-7-28 kunlik mustahkamlik hamda ekspluatatsion chidamlilik ko'rsatkichlari tizimlashtirildi. Natijalar TMV-75 bog'lovchisi va boyitilgan to'ldiruvchi kombinatsiyasi ta'mirlash qorishmasining texnologik qulayligi, mustahkamligi va suvga chidamliligini oshirishda istiqbolli ekanligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: barxan qumi, ta'mirlash qorishmasi, mayda donali beton, vibroaktivatsiya, TMV-75, S-3 superplastifikatori, boyitilgan to'ldiruvchi, AKREMOS 101, GKJ-11, suv shimuvchanlik, adgeziya.

Abstract. The article discusses a design approach for complex modified fine-grained repair mortars based on dune sand for restoring concrete and reinforced concrete structures. The concept relies on using local substandard dune sand not merely as a fine aggregate but as a component of a fine-ground vibroactivated binder consisting of Portland cement, dune sand and S-3 superplasticizer. The high dispersion, low fineness modulus and increased water demand of dune sand require a combined selection of granulometric enrichment, plasticization and polymer-mineral modification. The paper systematizes the effects of aggregate type, porosity, water absorption, water-cement ratio, 3-7-28-day compressive strength

and service durability. The results indicate that the combination of the TMV-75 binder and enriched aggregate is promising for improving workability, strength and water resistance of repair mortars.

Keywords: dune sand, repair mortar, fine-grained concrete, vibroactivation, TMV-75, S-3 superplasticizer, enriched aggregate, AKREMOS 101, GKJ-11, water absorption, adhesion.

Аннотация. В статье рассмотрен подход к проектированию комплексно модифицированных мелкозернистых бетонных смесей на основе барханного песка для ремонта бетонных и железобетонных конструкций. Логика исследования опирается на идею использования местного некондиционного песка не в качестве обычного наполнителя, а в качестве тонкомолотого виброактивированного вяжущего компонента, состоящего из портландцемента, барханного песка и суперпластификатора С-3. Высокая дисперсность барханного песка, низкий модуль крупности и повышенная водопотребность указывают на необходимость совместного выбора гранулометрического обогащения, пластификации и полимерно-минеральной модификации в составе ремонта. В статье систематизированы показатели типа заполнителя, пористости, водопоглощения, водоцементного соотношения, 3-7-28-дневной прочности и эксплуатационной долговечности. Результаты показывают, что комбинация связующего ТМВ-75 и обогащенного наполнителя перспективна для повышения технологичности, прочности и водостойкости ремонтного раствора.

Ключевые слова: барханный песок, ремонтный раствор, мелкозернистый бетон, виброактивация, ТМВ-75, суперпластификатор С-3, обогащенный заполнитель, АКРЕМОС 101, ГКЖ-11, водопоглощение, адгезия.

KIRISH

Beton va temirbeton konstruksiyalarining uzoq muddat ekspluatatsiya qilinishi, yoriqlar, sinishlar, qatlam ajralishi va armatura korroziyasi kabi nuqsonlar ta'sirida ularning xizmat muddati qisqaradi. An'anaviy ta'mirlash usullari ko'pincha eski beton yuzasiga yangi qatlam qo'yish, metall halqalar bilan siqish yoki ayrim elementlarni almashtirishga asoslanadi. Bunday yechimlar ishonchli bo'lishi mumkin, biroq katta mehnat sarfi va material tannarxi bilan ajralib turadi. Shu sababli mahalliy xomashyo asosida samarali, tejamkor va texnologik jihatdan qulay ta'mirlash tarkiblarini ishlab chiqish dolzarbdir.

Barxan qumlari O'rta Osiyo va unga tutash hududlarda keng tarqalgan tabiiy resurs hisoblanadi. Ularning asosiy muammosi changsimon va juda mayda fraksiyalar ulushining yuqoriligi, yiriklik modulining pastligi hamda suvga talabchanligidir. Shu bilan birga, aynan yuqori disperslik va polimineral tarkib ularni faollashtirilgan bog'lovchi tizimlarda mineral qo'shimcha sifatida qo'llash imkonini beradi. Maqolaning maqsadi - barxan qumi asosidagi modifikatsiyalangan ta'mirlash qorishmalarini loyihalashda to'ldiruvchi, bog'lovchi va kimyoviy qo'shimchalar tanlovining asosiy mezonlarini tizimlashtirishdir.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Ta'mirlash ishlarida mayda donali betonlarning qo'llanishi konstruksiyadagi kichik hajmli nuqsonlarni sifatli to'ldirish imkoniyati bilan bog'liq. Mayda donali tuzilma yirik qo'shimchalarsiz nisbatan bir jinsli matritsa hosil qiladi, kimyoviy va mineral modifikatorlarni samarali taqsimlashga sharoit yaratadi hamda purkash, quyish yoki bosim ostida joylashtirish kabi turli texnologiyalar uchun qulaylik beradi [1-3].

Biroq yirik to'ldiruvchining yo'qligi mayda to'ldiruvchi solishtirma yuzasini oshiradi, natijada suv va sement sarfi ko'payadi. Bu esa kirishish deformatsiyasi, kapillyar g'ovaklik va ichki zo'riqlashlarning ortishiga olib kelishi mumkin. Tadqiqotchilar ushbu kamchiliklarni ko'p komponentli bog'lovchilar, plastifikatorlar, havo kirituvchi qo'shimchalar va polimerlar bilan modifikatsiyalash orqali kamaytirish mumkinligini ko'rsatadi [2,4].

Polimer-sement tizimlarida polimer komponent sement toshi hamda to'ldiruvchi yuzasida yupqa parda hosil qilib, kontakt zonadagi adgezion mustahkamlikni oshiradi. Ayniqsa akril sopolimerlari, suv ushlab turuvchi qo'shimchalar va gidrofoblashtiruvchi komponentlardan kompleks foydalanish ta'mirlash tarkiblarining qatlamlanishiga qarshi turadi, eski beton bilan ilashishni kuchaytiradi va suvga chidamlilikni yaxshilaydi [5,6].

MATERIAL VA METODLAR

Maqoladagi tahlil barxan qumi, maydalash elagi mahsuloti, portlandsement, S-3 superplastifikatori, Sika Viscocrete 5 New, AKREMOS 101 va GKJ-11 komponentlari qo'llangan tajriba ma'lumotlariga asoslandi. Bog'lovchi sifatida oddiy portlandsement (PS) va portlandsement-barxan qumi-S-3 tizimidan iborat mayin tuyilgan vibrofaollashtirilgan bog'lovchilar (TMV-85, TMV-75, TMV-65) solishtirildi. TMV-75 tarkibida 74% portlandsement, 25% barxan qumi va 1% S-3 mavjud bo'lib, asosiy variant sifatida baholandi.

Qorishmalarni baholashda granulometrik tarkib, hisobiy va tajribaviy g'ovaklik, suv-sement nisbati, o'rtacha zichlik, suv shimuvchanlik, reologik ko'rsatkichlar va 28 kunlik siqilishdagi mustahkamlik mezonlari tanlandi. Natijalar boyitilgan to'ldiruvchi shifrlari bo'yicha ham, oddiy to'ldiruvchi turlari bo'yicha ham taqqoslandi. Sifat ko'rsatkichlari ta'mirlash ishlarida muhim bo'lgan uch blokda baholandi: texnologik qulaylik, fizik-mexanik barqarorlik va ekspluatatsion chidamlilik.

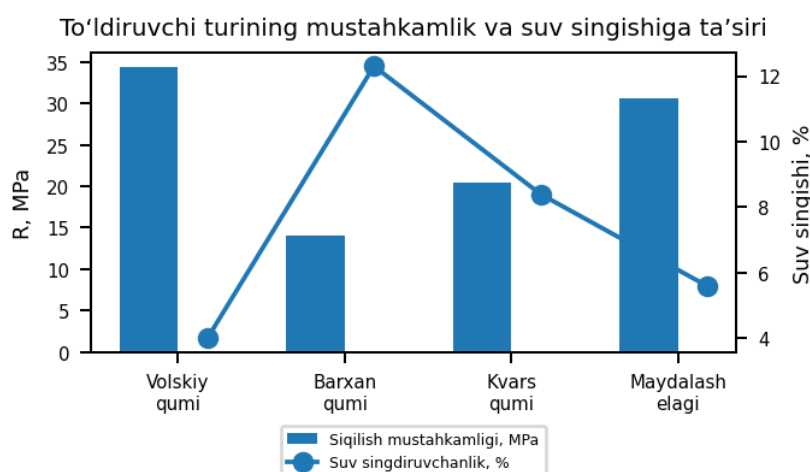
NATIJALAR VA MUHOKAMA

Dastlabki natijalar to'ldiruvchi turi mayda donali ta'mirlash betonining suv talabi va mustahkamligiga keskin ta'sir qilishini ko'rsatadi. Barxan qumi alohida qo'llanganda suv-sement nisbati 0,74 ga yetgan va 28 kunlik siqilishdagi mustahkamlik 14,1 MPa bilan cheklangan. Volskiy qumida bu ko'rsatkich 34,4 MPa, maydalash elagi mahsulotida esa 30,6 MPa bo'lgan. Demak, barxan qumini oddiy mayda to'ldiruvchi sifatida ishlatish emas, balki granulometrik boyitish va faollashtirilgan bog'lovchi tizimiga kiritish maqsadga muvofiq.

Jadval 1

To'ldiruvchi turlarining suv talabi va mustahkamlikka ta'siri

To'ldiruvchi	Yiriklik moduli	S/S	Suv singishi, %	R28, MPa
Volskiy qumi	2,5	0,41	4,0	34,4
Barxan qumi	0,6	0,74	12,3	14,1
Kvars qumi	1,8	0,55	8,4	20,5
Maydalash elagi	3,5	0,40	5,6	30,6



1-rasm. To'ldiruvchi turi bo'yicha mustahkamlik va suv singiruvchanlik tendensiyasi.

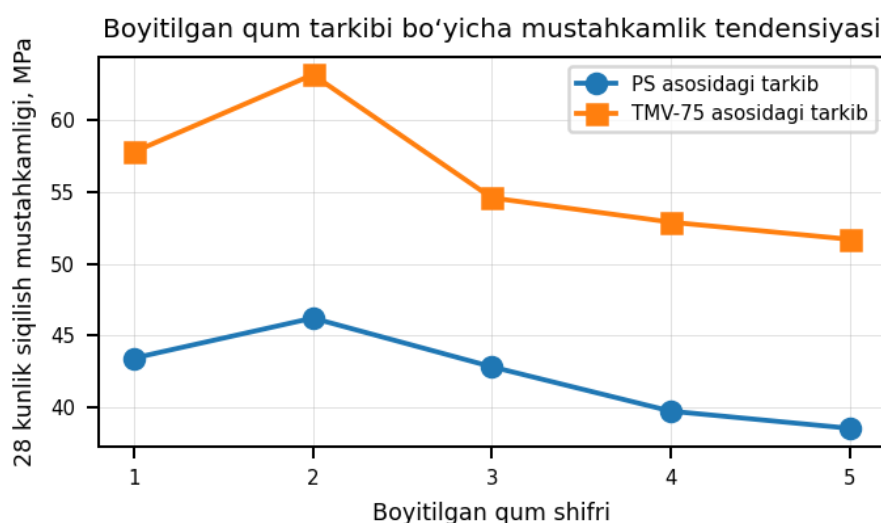
Boyitilgan to'ldiruvchi olishda maydalash elagi mahsuloti va barxan qumi nisbatlari o'zgartirilganda g'ovaklik kamayadi, zarracha qadoqlanishi yaxshilanadi va qorishmaning suvga ehtiyoji pasayadi. PS asosidagi tarkiblarda 28 kunlik mustahkamlik 38,5-46,2 MPa oralig'ida bo'lsa, TMV-75 asosidagi tarkiblarda bu qiymat 51,7-63,2 MPa gacha ko'tarildi. Eng yuqori natija

2-shifrli boyitilgan qumda qayd etildi: suv-sement nisbati 0,31, oʻrtacha zichlik 2224 kg/m³, 28 kunlik mustahkamlik 63,2 MPa.

Jadval 2

Boyitilgan toʻldiruvchi shifrlari boʻyicha PS va TMV-75 tarkiblarining solishtirma koʻrsatkichlari

Qum shifri	PS: S/S	PS: R28, MPa	TMV-75: S/S	TMV-75: R28, MPa
1	0,40	43,4	0,34	57,8
2	0,38	46,2	0,31	63,2
3	0,41	42,8	0,33	54,6
4	0,39	39,7	0,34	52,9
5	0,39	38,5	0,33	51,7



2-rasm. Boyitilgan qum shifrlari boʻyicha 28 kunlik mustahkamlikning oʻzgarishi.

TMV-75 bogʻlovchisi tarkibdagi sement ulushining bir qismini faollashtirilgan barxan qumi bilan almashtirish hisobiga nafaqat xomashyo tejamkorligini, balki yuqori dispersli mineral zarrachalar tufayli zichroq sement toshi hosil boʻlishini ham taʼminlaydi. S-3 superplastifikatori suv talabini kamaytirib, aralashmaning yoyiluvchanligini saqlaydi. AKREMOS 101 va GKJ-11 kabi polimer-gidrofob qoʻshimchalar esa kontakt zonaning adgeziyasini kuchaytiradi, suv yutilishini pasaytiradi va qotish jarayonida qatlamlanish xavfini kamaytiradi.

Jadval 3

Taʼmirlash tarkibini tanlash uchun koʻp mezonli baholash konsepsiyasi

Mezon	Maqsad	Qulay yechim	Nazorat koʻrsatkichi
Granulometriya	Gʻovaklikni kamaytirish	Maydalash elagi + barxan qumi	yiriklik moduli, gʻovaklik
Suv talabi	Kirishishni cheklash	TMV-75 + S-3	S/S, yoyilish
Adgeziya	Eski beton bilan ilashish	AKREMOS 101	ajralishga mustahkamlik
Suvga chidamlilik	Kapillyar namlanishni kamaytirish	GKJ-11, zich tuzilma	suv shimuvchanlik, Kyum
Durabillik	Siklli muhitga chidash	zich matritsa + polimer	F sinfi, suv oʻtkazmaslik

ТЕХНОЛОГИК ТАВСИЯЛАР

Barxan qumi asosidagi ta'mirlash qorishmalarini ishlab chiqarishda birinchi navbatda to'ldiruvchining donador tarkibi nazorat qilinadi. Juda mayda fraksiyalar suvga talabni oshirganligi sababli, ularni maydalash elagi mahsuloti bilan kombinatsiyalash zarur. Amaliy jihatdan 60/40 nisbatdagi to'ldiruvchi tizimi yuqori mustahkamlik va past S/S bilan ajralib turadi.

Beton yoki temirbeton yuzasiga qo'llashdan oldin eski betonning bo'shagan qatlamlari tozalanadi, chang va yog'li izlar ketkaziladi, armatura korroziyadan himoyalanaadi. Qorishma sirtga zich joylashtirilishi va dastlabki qotish davrida namlikning juda tez yo'qolishidan himoyalaniishi kerak. Polimer modifikatorlar mavjud bo'lganda qotish rejimi ishlab chiqaruvchi tavsiyasi va sinov natijalariga muvofiq tanlanadi.

XULOSA

Barxan qumi alohida to'ldiruvchi sifatida qo'llanganda yuqori suv talabi va past mustahkamlik bilan cheklanadi; shu sababli u granulometrik boyitilgan to'ldiruvchi va vibrofaollashtirilgan bog'lovchi komponenti sifatida samaraliroqdir.

TMV-75 bog'lovchisi PS asosidagi tarkiblarga nisbatan suv-sement nisbatini kamaytirish va 28 kunlik mustahkamlikni 51,7-63,2 MPa gacha oshirish imkonini berdi. Bu ta'mirlash qorishmasining konstruktiv tiklash vazifalarida qo'llanish istiqbolini kuchaytiradi.

Ko'p mezonli loyihalashda faqat mustahkamlik emas, balki suv shimuvchanlik, adgeziya, qatlamlanishga chidamlilik, sovuqqa chidamlilik va texnologik qulaylik birgalikda baholanishi lozim. Barxan qumi asosidagi modifikatsiyalangan tarkiblar mahalliy xomashyo resurslaridan foydalanish orqali tannarxni pasaytirish va ta'mirlash sifatini oshirish imkonini beradi.

Adabiyotlar

- [1]. Uzaeva A.A. Kompleksnye remontnye sostavy na osnove barkhannogo peska. Dissertatsiya, Groznyy, 2020.
- [2]. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona. Moskva: ASV, 2011.
- [3]. Lesovik V.S. Stroitelnoe materialovedenie: strukturnye zakonomernosti i svoystva kompozitov. Belgorod, 2006.
- [4]. Komokhov P.G. Modifitsirovannye betony i rastvory dlya remonta zhelezobetonnykh konstruksiy. Sankt-Peterburg, 2008.
- [5]. Murtazaev S-A.Yu., Bataev D.K-S. Melkozernistye betony na mestnom syr'e i tekhnologii ikh modifikatsii. Groznyy, 2015.
- [6]. GOST 31356-2007. Smesi sukhie stroitel'nye na tsementnom vyazhushchem. Metody ispytaniy.
- [7]. GOST 31357-2007. Smesi sukhie stroitel'nye na tsementnom vyazhushchem. Obshchie tekhnicheskie usloviya.
- [8]. GOST 10180-2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nyy obraztsam.
- [9]. GOST 12730.3-2020. Betony. Metod opredeleniya vodopogloshcheniya.
- [10]. Sika ViscoCrete 5 New. Texnik pasport va qo'llash bo'yicha tavsiyalar.

UDC 691.32:620.1

MOISTURE-BALANCED LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON EXPANDED PERLITE AND RECYCLED CERAMIC BRICK WASTE: THERMAL AND SHRINKAGE PERFORMANCE

Rajabov U.O.

Karakalpak state university, Karakalpakstan, Uzbekistan

*Corresponding author, e-mail: umidrajabov@mail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5637-7237>

(Received on September 3rd, 2026)

Abstract. The paper presents a material-oriented study of high-strength lightweight concrete designed for hot-dry climatic conditions using expanded perlite and recycled ceramic brick waste. In contrast to fiber-centered optimization, the focus is placed on water balance, internal curing, microfiller packing and thermo-deformation efficiency. The binder system consisted of CEM I 42.5N Portland cement, silica fume, limestone powder and ceramic brick powder. Expanded perlite was used not only as a lightweight aggregate but also as a controlled internal moisture reservoir after preliminary wetting. A staged comparison of technological

solutions showed that the transition from dry perlite to pre-wetted perlite and microfiller-modified mixtures increased the slump-flow from 535 to 595 mm, improved 28-day compressive strength from 48.2 to 57.0 MPa, reduced shrinkage from 0.620 to 0.475 mm/m and maintained a low thermal conductivity level of 0.475 W/(m·K). The proposed thermo-structural index reached 120.0 MPa·m·K/W, indicating that the developed composition combines structural capacity with energy-saving potential. The results support the use of locally available mineral resources and ceramic waste in durable lightweight concrete for dry regions.

Keywords: expanded perlite, ceramic brick waste, internal curing, lightweight concrete, shrinkage, thermal conductivity, silica fume, moisture balance.

Аннотация. В статье исследован высокопрочный легкий бетон на основе вспученного перлита и отходов керамического кирпича с акцентом на водный баланс, внутренний уход, уплотнение микроструктуры и теплотехническую эффективность. Переход от сухого перлита к предварительно увлажненному перлиту и микрофиллерной модификации позволил увеличить распыл с 535 до 595 мм, повысить прочность при сжатии с 48,2 до 57,0 МПа, уменьшить усадку с 0,620 до 0,475 мм/м и сохранить теплопроводность на уровне 0,475 W/(м·K).

Ключевые слова: вспученный перлит, отходы керамического кирпича, внутренний уход, легкий бетон, усадка, теплопроводность, микрокремнезем, водный баланс.

Annotatsiya. Maqolada ko'pchitilgan perlit va keramik g'isht chiqindisi asosidagi yuqori mustahkam yengil betonning suv balansi, ichki parvarishi, mikroto'ldiruvchilar yordamida zichlanishi hamda issiqlik-deformatsion samaradorligi o'rganildi. Quruq perlitdan oldindan namlantirilgan perlit va mikroto'ldiruvchi modifikatsiyalangan tarkibga o'tishda yoyiluvchanlik 535 mm dan 595 mm gacha oshdi, 28 sutkalik siqilishdagi mustahkamlik 48,2 MPa dan 57,0 MPa gacha ko'tarildi, kirishish 0,620 mm/m dan 0,475 mm/m gacha kamaydi.

Kalit so'zlar: ko'pchitilgan perlit, keramik g'isht chiqindisi, ichki parvarish, yengil beton, kirishish, issiqlik o'tkazuvchanlik, mikroremnezem, suv balansi.

Introduction

Lightweight concrete is increasingly considered as a material platform for energy-efficient and resource-saving construction. Its lower density reduces the dead load of structural elements, while porous aggregates can improve thermal performance. However, the main technological challenge is that a decrease in density is often accompanied by increased porosity, higher water absorption, more intensive shrinkage and lower strength. These effects become more critical in hot-dry climates, where the evaporation rate is high and early-age hydration may be interrupted by moisture loss.

Expanded perlite is a promising lightweight aggregate because of its low bulk density and low thermal conductivity. At the same time, its high open porosity makes the water state of the aggregate a decisive technological factor. If dry perlite is introduced into a cementitious mixture, it absorbs part of the mixing water and may reduce workability. If it is pre-wetted, it can release part of the stored water during hardening and act as an internal curing component. This principle is particularly important for regions where external curing is difficult to maintain during the first days after casting.

Recycled ceramic brick waste is another relevant component for lightweight concrete. After crushing and grading, coarse fractions can be used as porous mineral aggregate, while finely ground powder can function as a microfiller and partly reactive aluminosilicate addition. The combination of expanded perlite, ceramic brick powder, silica fume and a polycarboxylate superplasticizer provides an opportunity to control both water balance and microstructural packing. The aim of this study is to evaluate how moisture regulation and microfiller modification affect workability, strength, shrinkage and thermal conductivity of lightweight concrete based on local and recycled mineral resources.

Materials and methods

The binder was CEM I 42.5N Portland cement with a 28-day compressive strength of approximately 55.0 MPa. Silica fume MK-85 was used as a highly active pozzolanic addition, while limestone powder and ceramic brick powder acted as microfillers. Expanded perlite with a fraction of 0.16-1.25 mm was selected as a lightweight aggregate. Its dry bulk density was about 110 kg/m³

and its mass water absorption capacity was up to 300%, indicating the need for controlled pre-wetting. Crushed ceramic brick aggregate and quartz sand were used to improve the granular skeleton. A polycarboxylate-based superplasticizer was added to keep $W/B = 0.28$ while preserving high flowability.

Table 1.

Materials used for moisture-balanced lightweight concrete

Material	Role in the mixture	Characteristic value
CEM I 42.5N	Hydraulic binder	$\rho \approx 3100 \text{ kg/m}^3$; $f_{c,28} \approx 55 \text{ MPa}$
Silica fume MK-85	Pozzolanic ultrafine addition	$\text{SiO}_2 \approx 95.8\%$; $S \approx 18000 \text{ m}^2/\text{kg}$
Limestone powder	Inert microfiller	$d_{50} \approx 18 \text{ }\mu\text{m}$; $\rho \approx 2700 \text{ kg/m}^3$
Ceramic brick powder	Recycled aluminosilicate microfiller	$d_{50} \approx 45 \text{ }\mu\text{m}$; water absorption $\approx 8\%$
Expanded perlite	Lightweight aggregate and internal curing carrier	bulk density $\approx 110 \text{ kg/m}^3$; absorption up to 300%
Quartz sand	Fine aggregate	fineness modulus ≈ 2.2
PCE superplasticizer	Water-reducing admixture	solid content $\approx 30\%$

Four technological stages were compared. Stage S0 represented a mixture with dry perlite and no moisture-balancing measure. Stage S1 used pre-wetted perlite. Stage S2 combined pre-wetted perlite with ceramic brick powder as a microfiller. Stage S3 included pre-wetted perlite, ceramic brick powder, limestone powder, silica fume and PCE-controlled low W/B ratio. The purpose of this staged approach was to separate the effect of internal curing from the effect of microstructural densification.

Table 2.

Staged mixture strategy for water-balance control

Stage	Technological feature	Expected mechanism
S0	Dry perlite introduced directly	High water absorption by aggregate, reduced flowability
S1	Perlite pre-wetted for 10-15 min	Internal water reservoir and reduced early moisture loss
S2	Pre-wetted perlite + ceramic powder	Improved particle packing and secondary pore filling
S3	S2 + silica fume + limestone powder + PCE	Dense binder matrix, stable workability and low capillary continuity

The following parameters were measured or calculated: slump-flow, average density, 7- and 28-day compressive strength, flexural strength, mass water absorption, drying shrinkage and thermal conductivity. Shrinkage was evaluated as linear deformation in mm/m, and thermal conductivity was measured under stationary heat-flow conditions. In addition, a thermo-structural index I_{TS} was introduced to compare strength and thermal efficiency:

$$I_{TS} = f_{c,28} / \lambda, \text{ MPa} \cdot \text{m} \cdot \text{K/W}$$

where $f_{c,28}$ is the 28-day compressive strength and λ is the thermal conductivity. A higher I_{TS} value indicates a better combination of load-bearing capacity and heat-insulating performance.

Results and discussion

The comparison of staged mixture strategies demonstrated that the moisture state of perlite strongly influences the technological behavior of the concrete mixture. Dry perlite reduced flowability because it absorbed mixing water during the early stage of mixing. Pre-wetting increased the slump-flow from 535 to 565 mm, while additional microfiller modification raised it to 585-595 mm. This result confirms that internal curing should not be treated only as a hardening-

stage factor; it also affects the fresh mixture by stabilizing the effective water available to the binder.

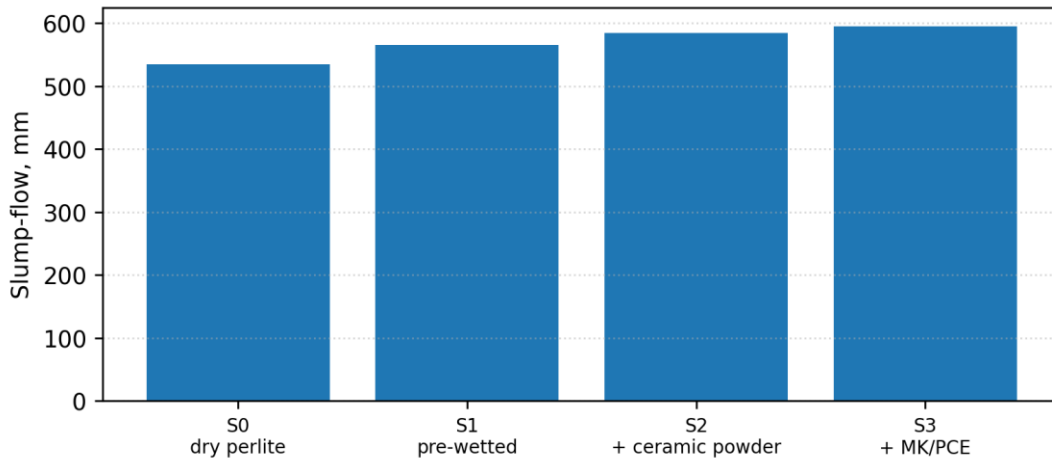


Figure 1. Slump-flow of mixtures with different moisture-control strategies.

Table 3.

Technological and mechanical performance of the staged mixtures

Parameter	S0	S1	S2	S3
Slump-flow, mm	535	565	585	595
Average density, kg/m ³	1585	1595	1600	1605
$f_{c,7}$, MPa	34.5	37.6	39.1	40.0
$f_{c,28}$, MPa	48.2	52.8	55.9	57.0
Flexural strength, MPa	6.20	6.80	7.20	7.50

The 28-day compressive strength increased from 48.2 MPa in S0 to 57.0 MPa in S3. The increase can be explained by two mechanisms. First, pre-wetted perlite reduced self-desiccation and supported hydration in the cement matrix. Second, the combination of ceramic powder, limestone powder and silica fume improved particle packing, reduced capillary discontinuities and strengthened the interfacial transition zone. The flexural strength also increased from 6.20 to 7.50 MPa, indicating that the microstructure became more homogeneous and less sensitive to local stress concentrations.

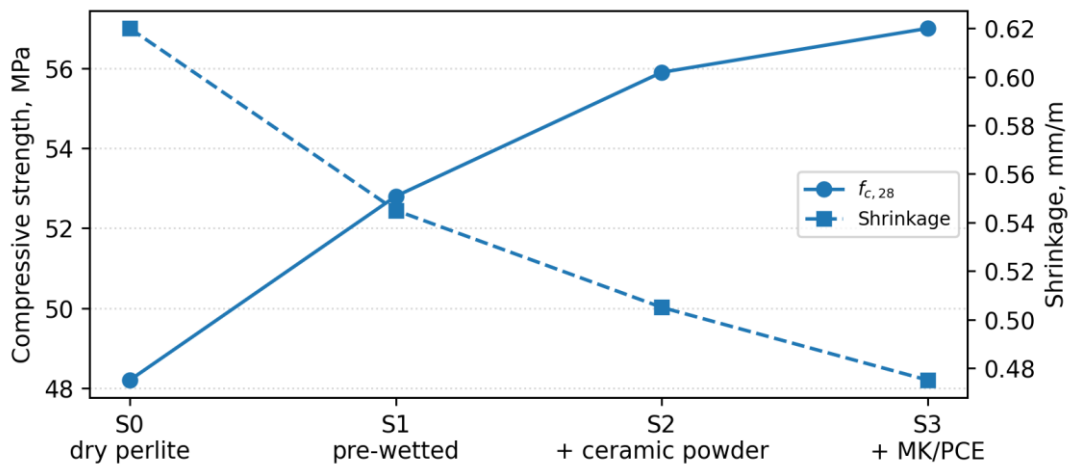


Figure 2. Strength gain and shrinkage reduction due to internal curing and microfiller modification.

Shrinkage decreased systematically from 0.620 mm/m in S0 to 0.475 mm/m in S3. The reduction is consistent with the internal curing effect of pre-wetted perlite. Water stored in the pores of perlite gradually participates in cement hydration, reducing capillary tension and limiting drying-

induced microcracking. Ceramic powder and silica fume further contribute by reducing the connectivity of capillary pores. Although thermal conductivity slightly increased from 0.445 to 0.475 W/(m·K) when the matrix was densified, the final value remained low for a material with a 28-day compressive strength above 57 MPa.

Table 4.

Durability-related and thermal-deformation indicators

Parameter	S0	S1	S2	S3
Mass water absorption, %	9.1	8.2	7.5	6.8
Drying shrinkage, mm/m	0.620	0.545	0.505	0.475
Thermal conductivity λ , W/(m·K)	0.445	0.455	0.465	0.475
I _{TS} , MPa·m·K/W	108.3	116.0	120.2	120.0
Relative shrinkage reduction, %	0	12.1	18.5	23.4

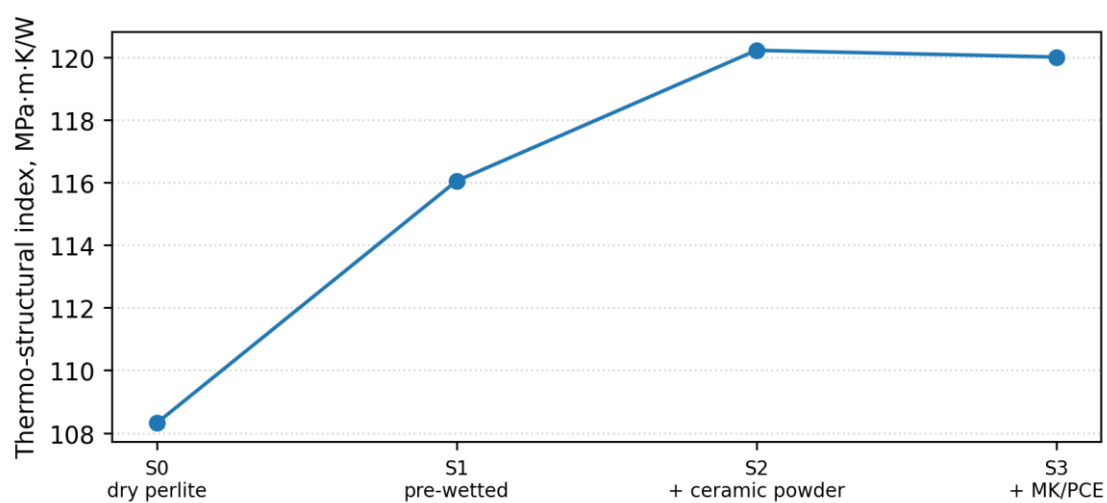


Figure 3. Thermo-structural efficiency index of staged mixtures.

The thermo-structural index increased from 108.3 to approximately 120.0 MPa·m·K/W. The highest value was obtained for S2-S3, demonstrating that a small increase in thermal conductivity caused by densification is compensated by a substantial strength gain. In practical terms, the S3 composition provides a better balance for structural and envelope elements where mechanical reliability and thermal performance are required simultaneously.

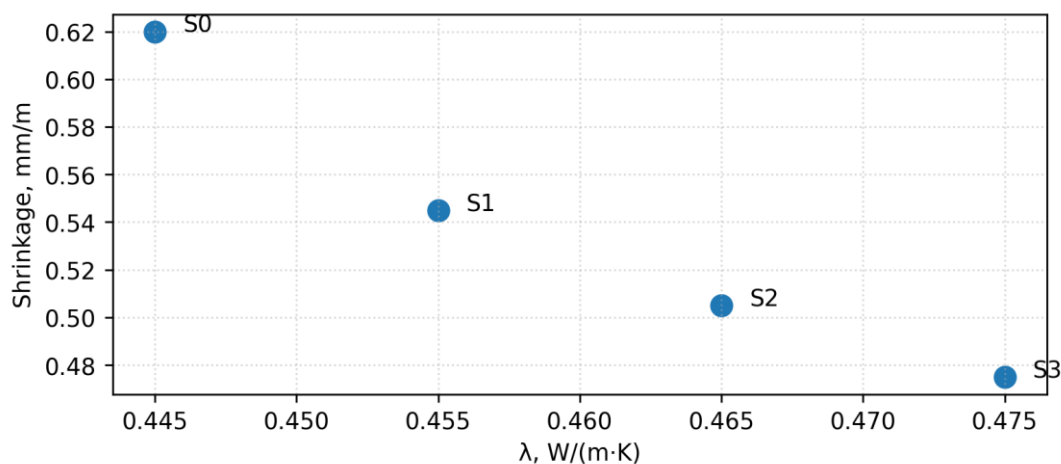


Figure 4. Relationship between thermal conductivity and drying shrinkage.

The correlation between λ and shrinkage shows that densification and moisture regulation act in opposite but complementary ways. Denser mixtures conduct heat slightly better, but they also shrink less and absorb less water. Therefore, the optimal composition should not be selected only by the minimum λ value; it must be assessed through a combined criterion that includes strength, density, shrinkage and capillary transport. The staged approach used in this study supports the selection of S3 as the most balanced composition for hot-dry regions.

Conclusion

1. Expanded perlite can serve as both a lightweight aggregate and an internal curing carrier. Preliminary wetting stabilizes the effective water balance of the mixture and reduces early moisture loss.

2. Recycled ceramic brick powder improves particle packing and contributes to the densification of the cementitious matrix, especially when combined with silica fume and limestone powder.

3. The staged transition from dry perlite to the complete moisture-balanced and microfiller-modified system increased the 28-day compressive strength from 48.2 to 57.0 MPa and reduced drying shrinkage from 0.620 to 0.475 mm/m.

4. The final composition achieved a thermo-structural index of about 120.0 MPa·m·K/W, confirming that locally available perlite and ceramic waste can be used to obtain lightweight concrete with a rational balance of structural and thermal performance.

References

- [1]. Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. London: Pearson, 2011.
- [2]. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill, 2014.
- [3]. Chandra S., Berntsson L. Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology and Applications. Norwich: Noyes Publications, 2002.
- [4]. Bentz D.P., Weiss W.J. Internal Curing: A 2010 State-of-the-Art Review. NIST, 2011.
- [5]. ACI Committee 213. Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete (ACI 213R-14). American Concrete Institute, 2014.
- [6]. Ramachandran V.S. Concrete Admixtures Handbook. New Jersey: Noyes Publications, 1995.
- [7]. Bentur A., Mindess S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. London: Taylor & Francis, 2007.
- [8]. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия.
- [9]. ГОСТ 10832-2009. Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия.
- [10]. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.
- [11]. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний.
- [12]. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
- [13]. ГОСТ 12730.3-2020. Бетоны. Методы определения водопоглощения.
- [14]. ГОСТ 24544-2020. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести.
- [15]. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности.

UDK: 69.003:005.5

QURILISHDA ISHLARNI TASHKIL ETISH MODELLARINING MOHIYATI VA ULARNI AMALGA OSHIRISH USULLARI

B.D. Tolegenov

Toshkent shahridagi Belarus-O'zbekiston qo'shma tarmoqlararo amaliy texnik

kvalifikatsiyalar instituti

**Mas'ul muallif, e-mail: batirtolegenov123@gmail.com*

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya. Maqolada obyektlarni qurishda ishlarni tashkil etish modellarining mohiyati, ularning qurilish ishlab chiqarishini rejalashtirish va boshqarishdagi o'rni, shuningdek, chiziqli, siklogramma hamda tarmoq modellarining xususiyatlari yoritilgan. Ishlarni tashkil etish usullarining tasnifi, ular o'rtasidagi

bog'liqliklar va eng samarali tashkiliy-texnologik yechimlarni tanlash masalalari tahlil qilingan.

Tayanch so'zlar: modellashtirish, qurilish ishlab chiqarishi, rejalashtirish, boshqarish, chiziqli model, siklogramma, tarmoq modeli, ishlarni tashkil etish usullari.

Аннотация. В статье раскрывается сущность моделей организации работ при строительстве объектов, их роль в планировании и управлении строительным производством, а также освещаются особенности линейных, циклограммных и сетевых моделей. Проанализированы классификация методов организации работ, взаимосвязи между ними и вопросы выбора наиболее эффективных организационно-технологических решений.

Ключевые слова: моделирование, строительное производство, планирование, управление, линейная модель, циклограмма, сетевая модель, методы организации работ.

Abstract. This article examines the essence of work organization models in facility construction, their role in planning and managing construction projects, and also highlights the features of linear, cyclogram, and network models. The classification of work organization methods, the interrelationships between them, and issues concerning the selection of the most effective organizational and technological solutions are analyzed.

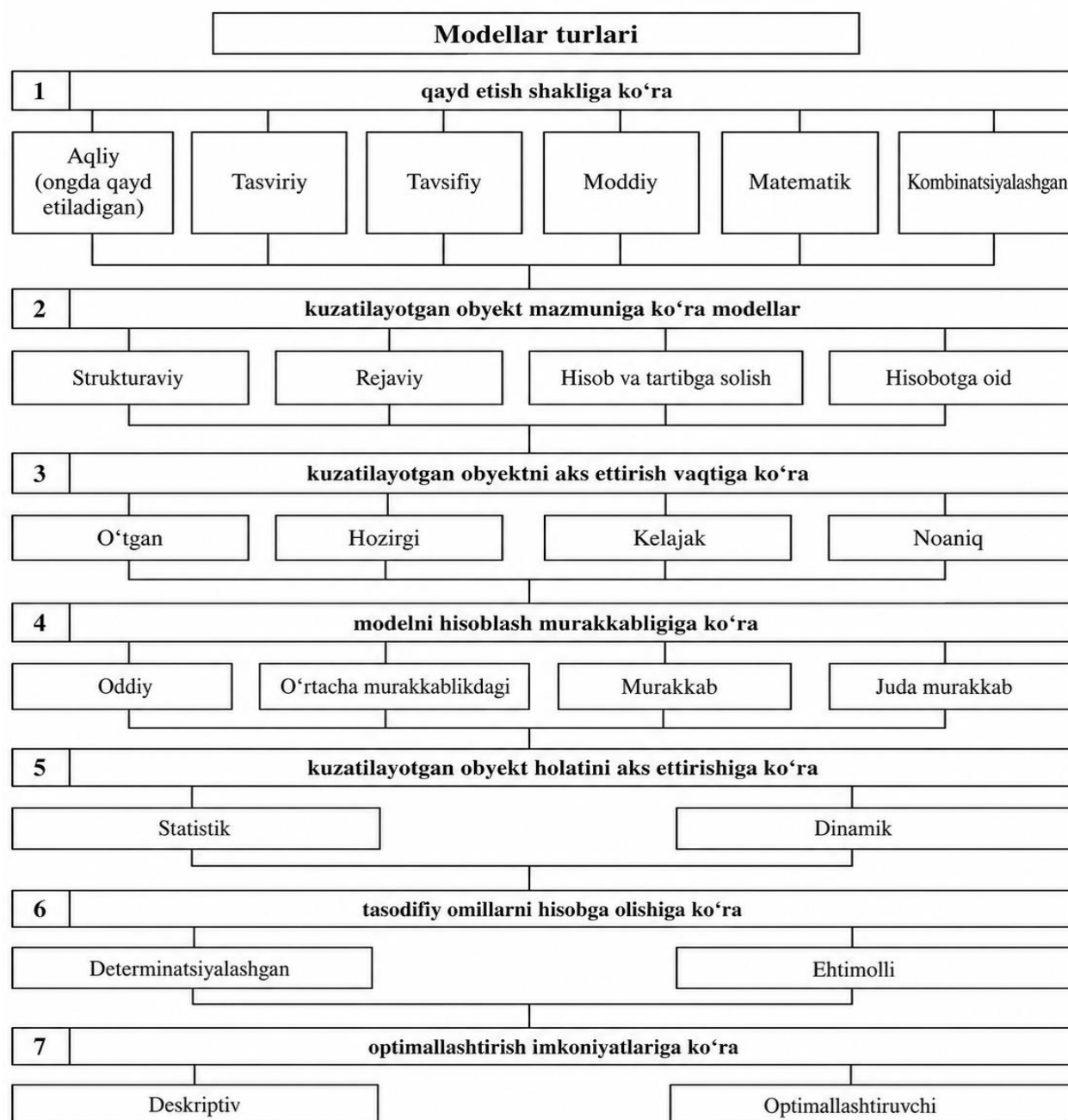
Keywords: modeling, construction management, planning, management, linear model, cyclogram, network model, work organization methods.

Kirish. Qurilish ishlab chiqarishini samarali tashkil etish va rejalashtirish ishlarni vaqt hamda makon bo'yicha o'zaro muvofiqlashtirishni talab etadi. O'zbekiston Respublikasining Shaharsozlik kodeksida shaharsozlik faoliyatini hududiy rejalashtirish, loyihalash va qurish jarayonlari bilan uzviy bog'liq holda tashkil etish zarurligi belgilangan bo'lib, bu qurilish jarayonlarini ilmiy asosda boshqarishni taqozo etadi [1]. Yangi O'zbekistonning 2022–2026-yillarga mo'ljallangan taraqqiyot strategiyasida ham qurilish tarmog'ini modernizatsiya qilish, infratuzilmani rivojlantirish va boshqaruvga zamonaviy yondashuvlarni joriy etish ustuvor vazifalardan biri sifatida qayd etilgan [2].

Model deganda o'rganilayotgan obyekt, jarayon yoki hodisaning soddalashtirilgan, ammo mazmuniy jihatdan yetarli darajada to'liq ifodasi tushuniladi. Qurilishda bunday model ishlarni ketma-ketlikda, oqim asosida yoki tarmoq bog'lanishlari ko'rinishida ifodalashga xizmat qiladi. Muhandislik-geologik, hududiy va tashkiliy omillarni hisobga olgan holda model tuzish amaliy loyihalash va qurilish boshqaruvining muhim vositasiga aylanadi [1; 3].

Qurilish ishlab chiqarishida qo'llaniladigan modellarning mazmuni vaqt o'tishi bilan kengayib borgan. Dastlab soddas tasviriy va grafik yondashuvlar ustun bo'lgan bo'lsa, keyinchalik resurslarni taqsimlash, ish jabhalarini o'zlashtirish, kritik yo'lni aniqlash va variantlarni solishtirish imkonini beruvchi murakkabroq modellar shakllandi. Bu boradagi nazariy asoslar A.A. Gusakov, V.A. Afanasev va M.S. Budnikovlarning tadqiqotlarida keng yoritilgan bo'lib, ular hozirgi kunda ham qurilish ishlab chiqarishini tashkil etish metodologiyasining muhim tayanchi bo'lib qolmoqda [4–6].

Qurilish ishlab chiqarishida qo'llaniladigan modellarning tasnifini sxematik tarzda ifodalash ularning o'zaro farqi va qo'llanish doirasini aniqroq anglash imkonini beradi.



1-rasm. Qurilishda qo'llaniladigan modellar tasnifi.

1-rasmdan ko'rinadiki, qurilishda qo'llaniladigan modellar soddadan murakkabga qarab rivojlanib, tasviriy, grafik va tarmoq ko'rinishlarida namoyon bo'ladi. Mazkur tasnif keyingi tahlillar uchun nazariy asos bo'lib xizmat qiladi.

Mazkur maqolada qurilish obyektlarini barpo etishda ishlarni tashkil etish modellarining mohiyati, ularning asosiy turlari va amaliy qo'llash usullari O'zbekiston qurilish amaliyoti hamda amaldagi me'yoriy-huquqiy talablar bilan uyg'un holda tahlil qilinadi. Xususan, chiziqli, siklogramma va tarmoq modellarining tashkiliy imkoniyatlari mahalliy qurilish sharoiti nuqtai nazaridan baholanadi [1–3].

Tadqiqot metodikasi. Tadqiqot jarayonida qurilish ishlarini tashkil etish va rejalashtirishga oid nazariy manbalar, klassik oqimli qurilish yondashuvlari hamda grafik modellar bo'yicha ilmiy adabiyotlar tahlil qilindi. Shu bilan birga, O'zbekiston Respublikasining Shaharsozlik kodeksi, taraqqiyot strategiyasi va qurilish uchun muhandislik-geologiya izlanishlariga oid amaldagi shaharsozlik normalari metodik tayanch sifatida qabul qilindi [1–3].

Birinchi bosqichda modellarni shakllantirishga qo'yiladigan umumiy talablar – maqsadga yo'naltirilganlik, adekvatlik, to'liqlik, soddalik, tejamkorlik va moslashuvchanlik – tizimli ravishda ko'rib chiqildi. Ushbu mezonlar nazariy jihatdan qurilish sistemotexnikasi va oqimli tashkil etish tamoyillari bilan asoslanadi, amaliy jihatdan esa zamonaviy mahalliy me'yoriy hujjatlar bilan uyg'unlashadi [3–5].

Metodik tahlilda qurilish jarayonini vaqt va makon bo'yicha uyg'unlashtirish mezoniga alohida e'tibor qaratildi. Shu asosda ishlarni tashkil etishning ketma-ket, oqimli, parallel va parallel-oqimli usullari qiyosiy tahlil qilindi. Bunda obyektning murakkabligi, ish frontlarining soni, resurs ta'minoti, muddat cheklavlari va qurilish maydonining hududiy sharoiti asosiy baholash mezonlari sifatida olindi [4–6].

Ishlarni tashkil etish modellarining asosiy turlari. Qurilish amaliyotida eng ko'p tarqalgan modellar qatoriga chiziqli modellar kiradi. Ularning afzalligi soddalik va ko'rgazmalilikda namoyon bo'ladi: ish turlari kalendar vaqt shkalasida ketma-ket joylashtiriladi va ular bo'yicha umumiy bajarilish manzarasi shakllanadi. Mahalliy qurilish tashkilotlari amaliyotida bunday grafiklar kichik va o'rta hajmdagi obyektlar uchun hamon keng qo'llanilib, tezkor boshqaruv qarorlarini qabul qilishda qulay vosita bo'lib xizmat qiladi [4; 5].

Qurilish amaliyotida chiziqli grafiklarning tuzilishi va ulardan foydalanish qulayligini tushuntirish uchun ularning umumiy ko'rinishini keltirish maqsadga muvofiqdir.

N	Ko'rsatkichlar nomi		Vaqtning kalendar birliklari											
1	Xususiy oqimlar (ish turlari)	O'Ichov birligi, ish hajmi, mehnat sarfi va ijrochilar tarkibi	1-xususiy oqim (ish turi)											
2			2-xususiy oqim (ish turi)											
m-2			(m-2)-xususiy oqim (ish turi)											
m-1			(m-1)-xususiy oqim (ish turi)											
m			m-xususiy oqim (ish turi)											
mehnat va moddiy-texnik resurslarga ehtiyoj			r ₁	r ₂	r ₃			r _{m+n}						
			T raz						T prx			Tsv		
									t _m					
			T											

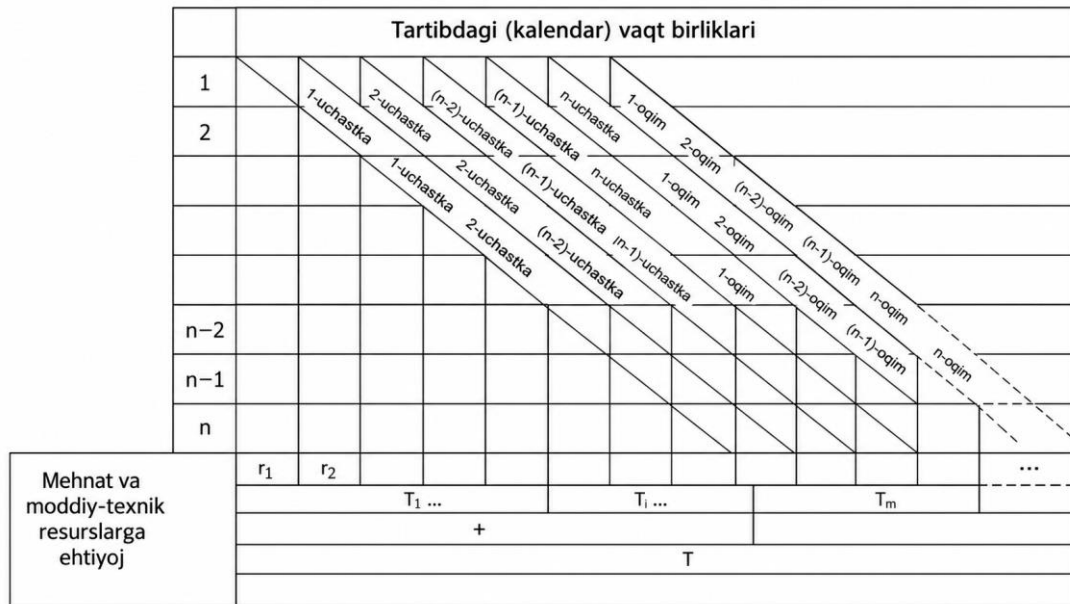
2-rasm.Chiziqli model.

2-rasmda ish turlarining kalendar vaqt bo'yicha joylashtirilishi aks etgan bo'lib, u chiziqli modelning soddaligi va ko'rgazmaliligini yaqqol namoyon etadi. Biroq ushbu model murakkab bog'liqliklarni to'liq ifodalashda cheklangan imkoniyatga ega.

Siklogramma ko'rinishidagi oqimli modellar esa ishlarning vaqt bilan birga makondagi harakatini ham namoyon etadi. Unda ish jabhalari ordinata bo'ylab, vaqt esa abssissa bo'ylab joylashtiriladi. Shu sababli mazkur model ko'p qavatli uy-joylar, jamoat binolari va yirik

infratuzilma obyektlarida brigadalar harakatini muvofiqlashtirishda, ish frontlarini bosqichma-bosqich o'zlashtirishda samarali natija beradi [5; 6].

Chiziqli modeldan farqli ravishda, siklogramma ishlarning vaqt bilan bir qatorda makondagi harakatini ham aks ettiradi. Shu sababli uni alohida rasm orqali ko'rsatish zarur.

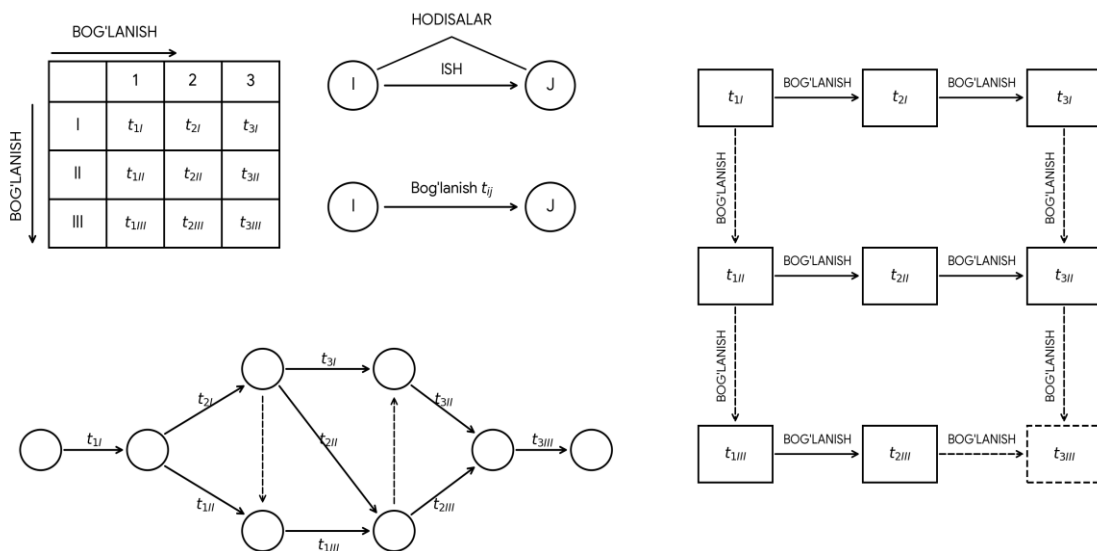


3-rasm. Siklogramma ko'rinishidagi model.

3-rasmda ish jabhalarining bosqichma-bosqich o'zlashtirilishi va brigadalar harakatining ketma-ketligi ko'rsatilgan. Ushbu yondashuv oqimli qurilishni tashkil etishda ayniqsa samarali hisoblanadi.

Tarmoq modellarida esa ishlar o'rtasidagi bog'lanishlar markaziy o'rin egallaydi. Bunday yondashuvda har bir ish alohida element sifatida qaraladi va ularning o'zaro ketma-ketligi, parallel bajarilishi, kritik va nokritik holati hisobga olinadi. Mazkur model murakkab ko'p bosqichli obyektlarda, ayniqsa muddatlar qat'iy belgilangan qurilishlarda, resurs va vaqt zaxiralarini aniq baholash imkonini beradi [4].

Murakkab obyektlarda ishlar o'rtasidagi bog'lanishlarni chuqur tahlil qilish uchun tarmoq modelining sxematik ko'rinishini keltirish maqsadga muvofiq.



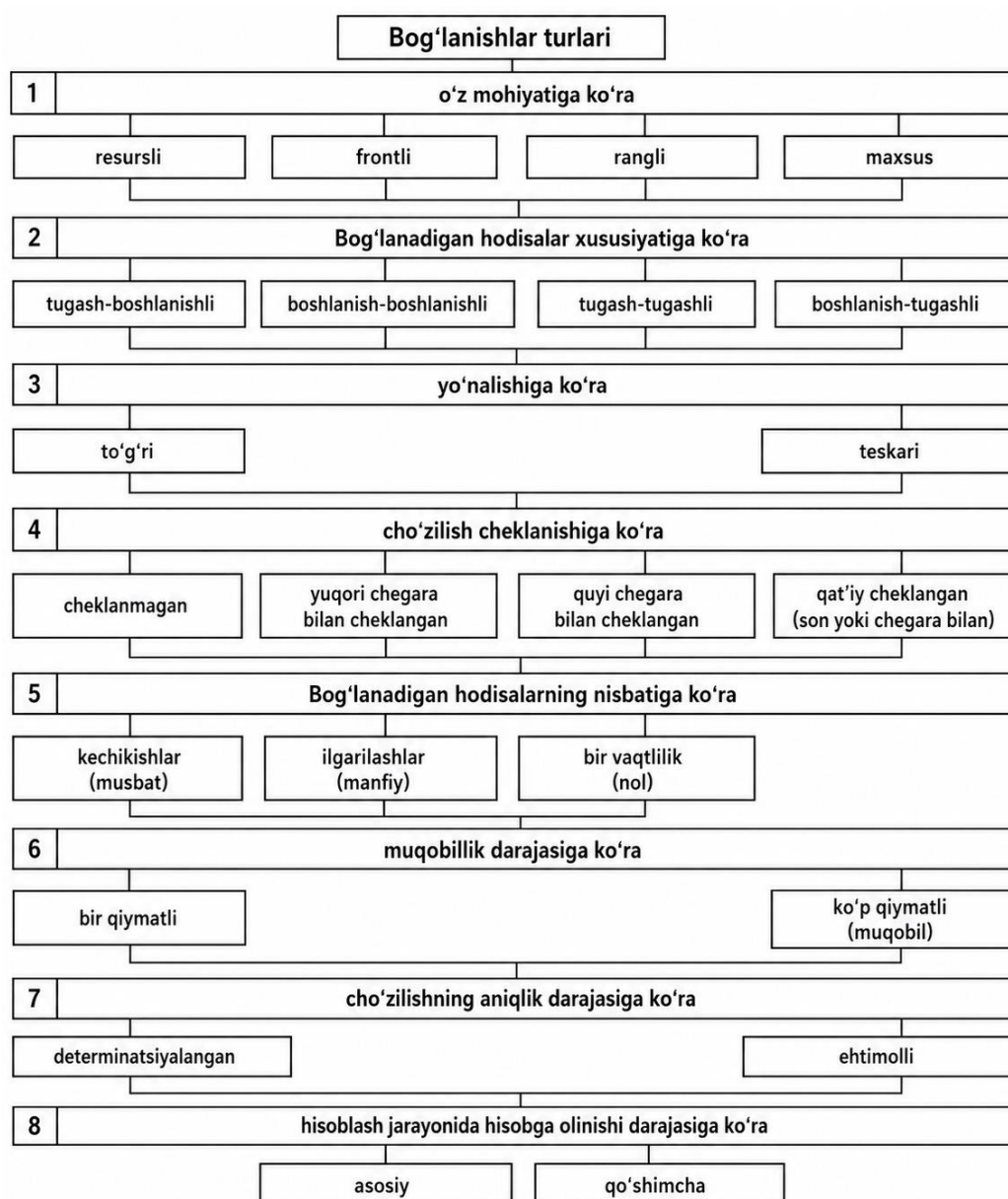
4-rasm. Tarmoq modeli.

4-rasm tarmoq modelining asosiy elementlari va ular orasidagi bog‘lanishlarni aks ettiradi. Aynan shu model yordamida kritik yo‘lni aniqlash, vaqt zaxirasini baholash va ishlarni optimallashtirish mumkin bo‘ladi.

Shunday qilib, turli model turlari turli vazifalarni bajaradi: chiziqli grafiklar umumiy ko‘rinishni beradi, siklogrammalar oqimli tashkil etish uchun qulaylik yaratadi, tarmoq modellari esa bog‘lanishlarni chuqur tahlil qilish imkonini beradi. O‘zbekiston qurilish amaliyotida ushbu modellardan birini tanlash obyekt turi, ish hajmi, texnologik murakkablik va boshqaruv talablari bilan belgilanadi [1; 4–6].

Ishlar o‘rtasidagi bog‘liqliklar va ularni hisobga olish. Qurilish jarayonida ishlar o‘rtasidagi bog‘liqliklar tashkiliy va texnologik qarorlarning mazmunini belgilaydi. Ular orasida resurs bog‘liqligi, frontal bog‘liqlik, rangli bog‘liqlik va maxsus texnologik bog‘lanishlar alohida ahamiyat kasb etadi. Aynan ushbu bog‘lanishlar ishlarning boshlanish va tugash vaqtini, brigadalar harakatining uzluksizligini hamda resurslardan foydalanish samaradorligini belgilaydi [4–6].

Ishlar o‘rtasidagi bog‘liqliklarning turlarini yaxlit tushunish uchun ularning tasnifini sxema ko‘rinishida berish maqsadga muvofiqdir.



5-rasm. Ishlar o‘rtasidagi bog‘liqliklarning tasnifi.

5-rasmda resurs, frontal va boshqa bog'liqliklarning o'zaro farqi ko'rsatilgan. Bu tasnif qurilish jarayonida ishlarning boshlanishi va tugashini to'g'ri muvofiqlashtirishda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Bog'liqliklar vaqt nuqtai nazaridan tugash-boshlanish, boshlanish-boshlanish, tugash-tugash va boshlanish-tugash turlariga bo'linadi. Ketma-ket tashkil etishda, odatda, tugash-boshlanish bog'liqligi ustun bo'ladi. Ammo amaliy qurilishda, ayniqsa sanoat va fuqarolik obyektlarida, bir qator ishlarning bir vaqtda yoki qisqa uzilish bilan bajarilishi zarur bo'lganligi sababli boshqa turdagi bog'liqliklar ham keng qo'llaniladi [4; 5].

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, bog'liqliklarning cho'zilish darajasi ishlarning umumiy davomiyligiga, kritik yo'l shakllanishiga va resurslardan foydalanish ko'rsatkichlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu jihatdan qaralganda, bog'liqliklarni to'g'ri belgilash nafaqat nazariy, balki ishlab chiqarish samaradorligi nuqtai nazaridan ham muhimdir. Bu masala zamonaviy qurilish boshqaruvi va mahalliy me'yoriy talablar bilan chambarchas bog'liq [1; 3; 4].

Ishlarni tashkil etish usullari va ularning amaliy ahamiyati. Ishlarni tashkil etish usullari bajarilish tamoyiliga ko'ra ketma-ket, oqimli, parallel va parallel-oqimli ko'rinishlarda namoyon bo'ladi. Ketma-ket usul sodda obyektlarda va ish hajmi uncha katta bo'lmagan sharoitlarda qo'llansa, oqimli usul takrorlanuvchi jarayonlarga ega obyektlarda yuqori samaradorlik beradi. Parallel va parallel-oqimli usullar esa resurslarni ko'proq jalb qilish evaziga qurilish muddatini qisqartirish imkonini yaratadi [5; 6].

Parallel usulda bir xil turdagi ishlar turli jabhalarda bir vaqtda bajariladi. Parallel-oqimli usul esa parallel bajarilish va oqim tamoyilining uyg'unlashuvi bilan tavsiflanadi. O'zbekiston sharoitida, ayniqsa uy-joy majmualari, ta'lim va tibbiyot obyektlari hamda sanoat maydonlari qurilishida ushbu yondashuvlar muddatni qisqartirish va resurslardan samarali foydalanish nuqtai nazaridan dolzarb hisoblanadi [1; 2; 5].

Ishlarni tashkil etish usullarini tanlashda maromiylik, resurslarning uzluksizligi, variantlilik va aniqlik darajasi muhim ahamiyatga ega. Doimiy jadallikdagi oqimlar mehnat va texnik vositalardan barqaror foydalanishni ta'minlaydi, biroq amaliyotda bunday holat doimo saqlanmaydi. Shu sababli muqobil variantlarni solishtirish va eng maqbulini tanlash tashkilotchilik samaradorligining asosiy sharti hisoblanadi [4–6].

Shuningdek, kritik va nokritik ishlarni ajratish, zaxira vaqtlarini aniqlash va ishlarning erta hamda kech muddatlarini hisoblash qurilish jarayonini optimallashtirishga xizmat qiladi. Bu esa tarmoq modellarining amaliy qimmatini oshiradi hamda muddat bo'yicha xavflarni oldindan baholash imkonini beradi [4].

Olingan natijalar tahlili. O'rganilgan manbalar va metodik yondashuvlar asosida qurilishda ishlarni tashkil etish modellarining samaradorligi ularning vazifaga mos tanlanishiga bog'liq ekani aniqlandi. Mahalliyashtirilgan yondashuv shuni ko'rsatdiki, O'zbekiston qurilish amaliyotida model tanlashda faqat nazariy qulaylik emas, balki amaldagi shaharsozlik talablari, hududiy sharoit, muhandislik-geologik omillar va boshqaruvning tashkiliy imkoniyatlari ham hisobga olinishi lozim [1–3].

Natijalar shuni ko'rsatdiki, modellarni tanlashda faqat ko'rgazmalilik emas, balki boshqaruv imkoniyatlari, bog'liqliklarni aks ettirish darajasi, resurslarni muvofiqlashtirish qulayligi va amaliy moslashuvchanlik ham muhimdir. Masalan, kichik hajmli obyektlar uchun chiziqli grafiklar yetarli bo'lsa, murakkab ko'p bosqichli loyihalarda tarmoq modelidan foydalanish samaraliroq bo'ladi [4; 5].

Qurilish amaliyotida model tanlash ko'pincha obyektning murakkabligi, ish frontlarining soni, resurslar barqarorligi va muddat bo'yicha cheklovlar bilan belgilanadi. Hududiy xususiyatlar, jumladan transport-logistika sharoiti, materiallar yetkazib berish ritmi va muhandislik tayyorgarligi darajasi ham tanlovga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu ma'noda modellarni mahalliy sharoitga moslashtirish zaruriyati ortib bormoqda [2; 3].

Tashkiliy modellarni amaliyotga joriy etishda ularning ko'rgazmaliligi ham muhim omil hisoblanadi. Boshqaruv xodimlari, uchastka boshliqlari va ijrochilar uchun model qanchalik

tushunarli bo'lsa, u shunchalik samarali ishlaydi. Ayniqsa, qurilish maydonida tezkor qaror qabul qilish sharoitida modelning soddaligi va aniq o'qilishi katta afzallik beradi [5].

Bundan tashqari, zamonaviy raqamli vositalar bilan birgalikda qo'llanilganda tarmoq va oqimli modellar operativ nazorat, kechikishlarni erta aniqlash va resurslar qayta taqsimotini tez amalga oshirish imkonini beradi. Bu holat taraqqiyot strategiyasida belgilangan qurilish sohasini modernizatsiya qilish va boshqaruvga innovatsion yondashuvlarni joriy etish vazifalari bilan hamohangdir [2].

Modellashtirish natijalarini amaliyotga joriy etish uchun ma'lumotlarning yangilanib borishi ham katta ahamiyatga ega. Ish hajmi, resurs ta'minoti yoki qurilish maydoni sharoitidagi o'zgarishlar modelga o'z vaqtida kiritilmasa, u o'zining boshqaruv qiymatini yo'qotadi. Shu sababli modellarni dinamik boshqaruv vositasi sifatida ko'rish maqsadga muvofiqdir [1; 4].

Amaliy tajriba shuni ko'rsatadiki, modellarni o'zaro solishtirish orqali eng yaxshi tashkiliy variantni tanlash mumkin. Bu, ayniqsa, mehnat sig'imi yuqori, resurslar yetkazib berilishi murakkab va ishlar ketma-ketligi ko'p bosqichli bo'lgan obyektlarda muhim ahamiyatga ega. Shunday yondashuv qurilish muddatini qisqartirish, tannarxni pasaytirish va boshqaruv barqarorligini oshirishga xizmat qiladi [4–6].

Xulosa. Qurilish obyektlarini barpo etishda ishlarni tashkil etish modellaridan foydalanish ishlab chiqarish jarayonini ilmiy asosda rejalashtirish va boshqarish imkonini beradi. Mahalliyashtirilgan tahlil natijalari O'zbekiston qurilish amaliyotida ushbu modellarni tanlashda me'yoriy-huquqiy talablar, hududiy sharoit va obyektning texnologik murakkabligini birgalikda hisobga olish zarurligini ko'rsatdi [1–3].

Tadqiqot natijalariga ko'ra, chiziqli, siklogramma va tarmoq modellarining har biri ma'lum sharoitda samarali hisoblanadi. Ularning imkoniyatlarini to'g'ri baholash, o'zaro taqqoslash va eng maqbul variantni tanlash orqali qurilish ishlarini tashkil etish samaradorligini oshirish, resurslardan oqilona foydalanish va yuqori texnik-iqtisodiy natijalarga erishish mumkin [4–6].

Adabiyotlar

- [1]. O'zbekiston Respublikasining Shaharsozlik kodeksi. O'RQ-676-son, 22.02.2021.
- [2]. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risidagi PF-60-son Farmoni. 28.01.2022.
- [3]. SHNQ 1.02.09-21 "Qurilish uchun muhandislik-geologiya izlanishlari". O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi sohasida nazorat qilish inspeksiyasi, 2024.
- [4]. Гусаков А.А. Системотехника строительства. – М.: Стройиздат, 1993.
- [5]. Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. – Л.: Стройиздат, 1990.
- [6]. Будников М.С., Недавший П.И., Рыбальский В.И. Основы поточного строительства. – Киев: Госстройиздат УССР, 1961.

УДК 691.327.32

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАТРИЦЫ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛЕГКОГО ФИБРОБЕТОНА

Раджабов У.О.

Каракалпакский государственный университет, Каракалпакстан, Узбекистан

**Автор для корреспонденции, e-mail: umidrajabov@mail.com*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5637-7237>

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация. Рассмотрено влияние микрокремнезема, известняковой муки и порошка керамического кирпичного боя на формирование плотной цементной матрицы высокопрочного легкого фибробетона. В отличие от исследований, ориентированных преимущественно на волокнистое армирование или влагебаланс перлитового заполнителя, акцент сделан на минеральной

части системы: гранулометрическом уплотнении, снижении капиллярной водопроницаемости и повышении удельной прочности. На основе локальных сырьевых компонентов сформированы пять вариантов матрицы с различной комбинацией микронаполнителей. Показано, что комплексное введение МК-85, известняковой муки и порошка керамического кирпича позволяет повысить 28-суточную прочность при сжатии до 67,0 МПа, снизить водопоглощение до 6,0% и уменьшить усадку до 445 мкм/м при сохранении расчетной плотности легкого бетона. Полученные зависимости подтверждают целесообразность совместного применения реакционно-активного ультрадисперсного кремнезема и более крупного керамического микронаполнителя для формирования многоуровневой плотной структуры.

Ключевые слова: высокопрочный легкий бетон; микрокремнезем; керамический порошок; микронаполнитель; цементная матрица; водопоглощение; усадка; местное сырье.

Abstract. The paper evaluates the influence of silica fume, limestone powder and crushed ceramic brick powder on the formation of a dense cementitious matrix for high-strength lightweight fiber concrete. The study is focused on the mineral part of the system rather than on fiber reinforcement or perlite moisture curing. Five matrix variants with different microfiller combinations were analyzed. The combined use of MK-85 silica fume, limestone powder and ceramic powder increased the 28-day compressive strength to 67.0 MPa, reduced water absorption to 6.0% and limited drying shrinkage to 445 $\mu\text{m/m}$ while maintaining the lightweight character of the composite. The results show the efficiency of multi-scale particle packing and partial pozzolanic activity in improving the matrix of locally based lightweight concrete.

Keywords: high-strength lightweight concrete; silica fume; ceramic powder; microfiller; cement matrix; water absorption; shrinkage; local raw materials.

Annotatsiya. Maqolada mikrokremnezem, ohaktosh uni va keramik g'isht chiqindisidan olingan kukunning yuqori mustahkam yengil fibrobeton sement matritsasi tuzilishi va xossalari ta'siri baholandi. Asosiy e'tibor tolali armaturalash yoki perlitning ichki parvarish effektiga emas, balki mineral qismning zich qadoqlanishi, kapillyar g'ovaklikni kamaytirishi va solishtirma mustahkamlikni oshirishga qaratildi. Mahalliy xomashyolar asosida besh xil matritsa varianti tahlil qilindi. MK-85, ohaktosh uni va keramik kukunni kompleks qo'llash 28 sutkalik siqilishdagi mustahkamlikni 67,0 MPa gacha oshirgani, suv shimuvchanlikni 6,0% gacha va kirishishni 445 mkm/m gacha kamaytirgani aniqlandi.

Kalit so'zlar: yuqori mustahkam yengil beton; mikrokremnezem; keramik kukun; mikroto'ldiruvchi; sement matritsasi; suv shimuvchanlik; kirishish; mahalliy xomashyo.

Введение

Для северо-западных регионов Узбекистана, включая Хорезмскую область, актуальной задачей является создание конструкционных легких бетонов, сочетающих высокую прочность, пониженную среднюю плотность и устойчивость к интенсивной потере влаги в раннем возрасте. При использовании пористых заполнителей снижение плотности обычно сопровождается увеличением водопоглощения и ослаблением контактной зоны, что ограничивает рост прочности и долговечности. Поэтому повышение качества цементной матрицы становится одним из ключевых направлений управления свойствами легкого бетона.

Современные высокопрочные цементные композиты получают путем оптимизации водо-вяжущего отношения, применения поликарбоксилатных суперпластификаторов и введения минеральных микронаполнителей. Микрокремнезем обеспечивает не только физическое заполнение межзерновых пустот, но и пуццолановую реакцию с портландитом, что приводит к образованию вторичных C-S-H фаз. Известняковая мука стабилизирует реологию и улучшает гранулометрическую упаковку, а порошок керамического кирпичного боя является перспективным вторичным алюмосиликатным компонентом, способным частично проявлять реакционную активность.

Цель исследования состояла в оценке роли местных минеральных микронаполнителей в формировании плотной матрицы высокопрочного легкого фибробетона. Для достижения цели решались следующие задачи: охарактеризовать исходные микронаполнители; разработать варианты матриц с различным набором минеральных компонентов; оценить влияние этих вариантов на удобоукладываемость, прочность, водопоглощение, усадку и удельную эффективность; определить наиболее рациональную комбинацию микронаполнителей для дальнейшего применения в легких фибробетонах.

Материалы и методы

В качестве вяжущего применяли портландцемент СЕМ I 42,5N, соответствующий требованиям общестроительных цементов. Его нормальная плотность составляла 27,5%, начало и конец схватывания — 150 и 240 мин соответственно, прочность при сжатии через 2 и 28 суток — 25,0 и 55,0 МПа. Эти показатели свидетельствуют о достаточном потенциале вяжущего для получения легкого бетона конструкционного назначения.

Таблица 1.

Характеристика основных минеральных компонентов

Компонент	Функция в матрице	d₅₀, мкм	Истинная плотность, кг/м³	Особенность
СЕМ I 42,5N	вяжущее	—	3100	формирование первичного C-S-H
МК-85	активная добавка	0,15	≈2200	пуццолановая активность и микроуплотнение
Известняковая мука	микронаполнитель	18	2700	реологическая стабилизация
Керамический порошок	минеральный микронаполнитель	45	2550	вторичный алюмосиликатный ресурс
Кварцевый песок	мелкий заполнитель	≈650	2650	минеральный скелет

Составы матриц подбирались так, чтобы суммарная масса минеральной мелкодисперсной части оставалась сопоставимой, а различия в свойствах были обусловлены именно типом и сочетанием микронаполнителей. В качестве базового водо-вяжущего отношения принят диапазон 0,28-0,32; дозировка поликарбоксилатного суперпластификатора подбиралась в пределах 0,8-1,2% от массы вяжущего. Для исключения влияния волокон на интерпретацию результатов основные серии рассматривались как матричные варианты без изменения дисперсного армирования.

Таблица 2.

Варианты минеральной матрицы, принятые для сравнительного анализа

Вариант	Цемент, кг/м³	МК-85, кг/м³	Известняк, кг/м³	Керамический порошок, кг/м³	W/B	Идея состава
M0	500	0	0	0	0,32	контрольная цементная матрица
M1	450	50	0	0	0,30	активная кремнеземная модификация
M2	450	0	100	0	0,29	инертное микрозаполнение
M3	450	0	0	100	0,30	вторичный керамический микронаполнитель
M4	450	50	60	40	0,28	комплексное многоуровневое уплотнение

Удобоукладываемость оценивали по расплыву смеси. Среднюю плотность определяли по контрольным образцам после твердения. Прочность при сжатии и изгибе определяли на 7-е и 28-е сутки, водопоглощение — по массовому приросту после насыщения водой, усадку — по изменению длины призм. Для сопоставления вариантов дополнительно рассчитывали удельную прочность R_{ud} и матричный коэффициент эффективности K_m , учитывающий прирост прочности и снижение водопоглощения относительно контрольного состава.

$$R_{ud} = f_{c,28} / \rho_{rel}; \quad K_m = (f_{c,28,i} / f_{c,28,0}) \cdot (W_0 / W_i)$$

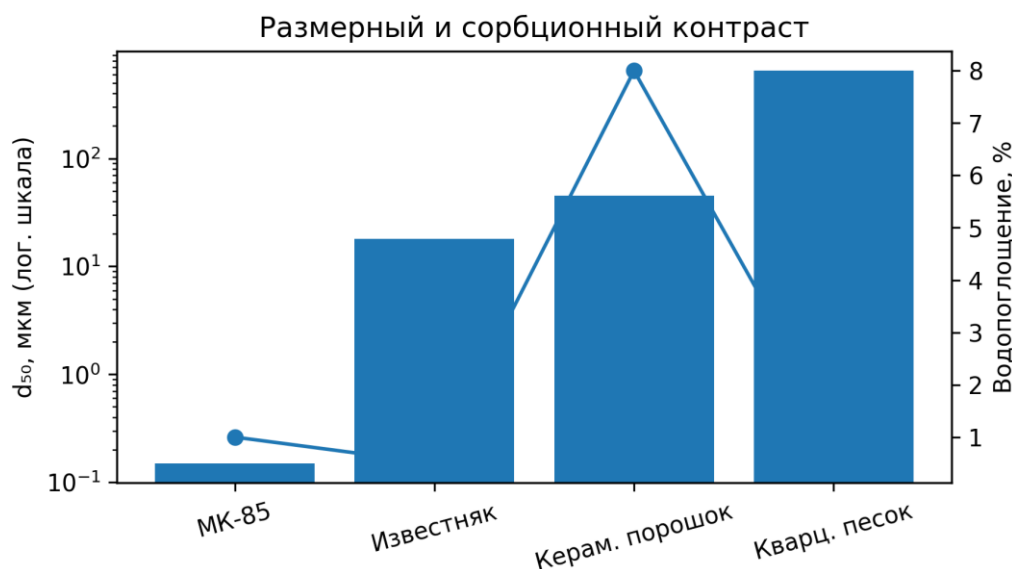


Рисунок 1. Размерный и сорбционный контраст выбранных микронаполнителей.

Результаты и обсуждение

Анализ исходных материалов показывает, что выбранные микронаполнители образуют многоуровневый гранулометрический ряд. Ультрадисперсный МК-85 заполняет промежутки между частицами цемента и инициирует вторичное образование гидросиликатов кальция. Известняковая мука имеет более крупный размер частиц и работает как стабилизирующий минеральный наполнитель, уменьшая вероятность расслоения. Керамический порошок обладает повышенным водопоглощением, что требует корректной дозировки воды, однако его развитая поверхность способствует механическому сцеплению с матрицей и повышению плотности контактной зоны.

Таблица 3.
Технологические и физико-механические показатели матричных вариантов

Вариант	Расплыв, мм	ρ , кг/м ³	$f_{c,7}$, МПа	$f_{c,28}$, МПа	$f_{b,28}$, МПа	W, %	$\varepsilon_{sh,28}$, мкм/м
M0	720	1588	32,8	50,5	5,6	8,4	520
M1	690	1596	39,5	61,0	6,8	7,0	475
M2	735	1582	36,4	55,6	6,1	7,6	498
M3	705	1576	37,0	57,2	6,3	7,4	482
M4	705	1605	40,0	67,0	7,5	6,0	445

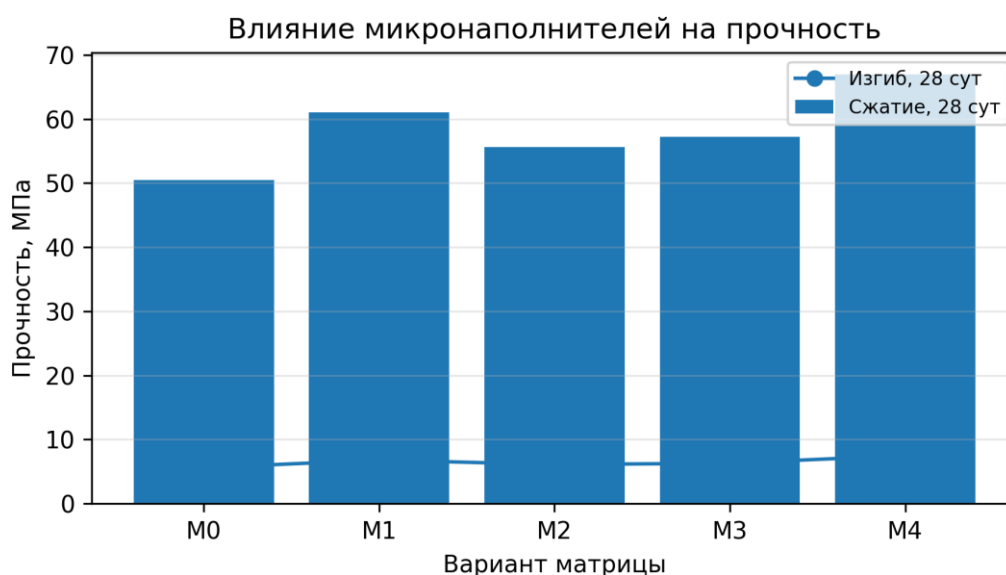


Рисунок 2. Влияние вариантов минеральной матрицы на прочность.

Наибольший прирост прочности обеспечил комплексный вариант М4. По сравнению с контрольной матрицей М0 прочность при сжатии через 28 суток увеличилась с 50,5 до 67,0 МПа, то есть на 32,7%. Применение только микрокремнезема (М1) также существенно повысило прочность, однако комплексная комбинация оказалась эффективнее за счет одновременного действия трех механизмов: микроуплотнения, пуццолановой реакции и заполнения промежуточных пустот частицами разного размера. Известняковая мука в варианте М2 улучшила удобоукладываемость, но ее влияние на прочность оказалось менее выраженным, что соответствует преимущественно физической роли данного наполнителя.

Керамический порошок М3 обеспечил более высокий результат по сравнению с контрольным составом, несмотря на повышенную водопотребность. Это объясняется тем, что дробленая керамическая фаза имеет шероховатую поверхность и улучшает механическое сцепление в микроразделах контакта. Однако при самостоятельном применении керамический порошок не обеспечивает такого же эффекта, как совместно с микрокремнеземом и известняковой мукой. Следовательно, его рациональная роль заключается не в полной замене активных добавок, а в включении в многоуровневую систему микронаполнителей.

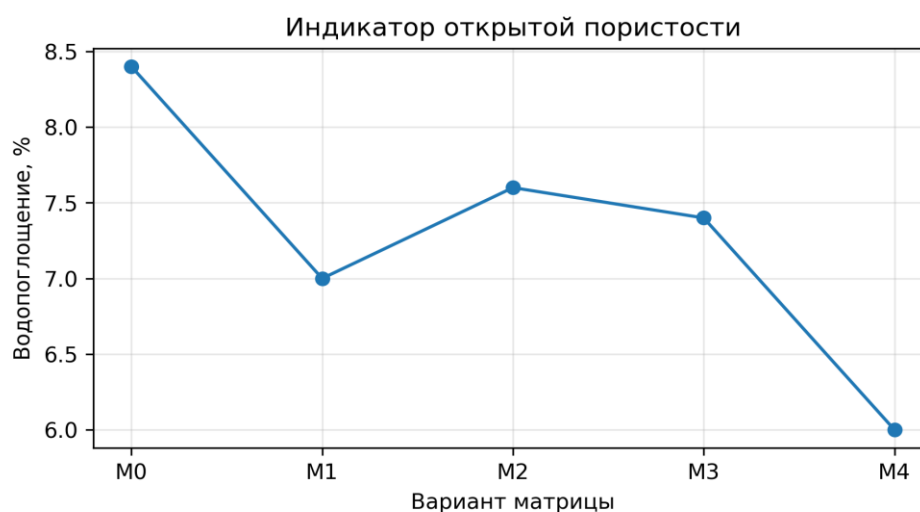


Рисунок 3. Изменение водопоглощения в зависимости от состава матрицы.

Снижение водопоглощения является косвенным индикатором уменьшения открытой капиллярной пористости. В варианте М4 водопоглощение снизилось до 6,0%, тогда как контрольный состав характеризовался значением 8,4%. При этом плотность смеси оставалась в диапазоне, соответствующем легкому конструкционному бетону. Полученный результат указывает, что комплексная минеральная модификация не просто увеличивает прочность, но и делает структуру менее проницаемой для воды, что важно для условий переменного увлажнения и высыхания.

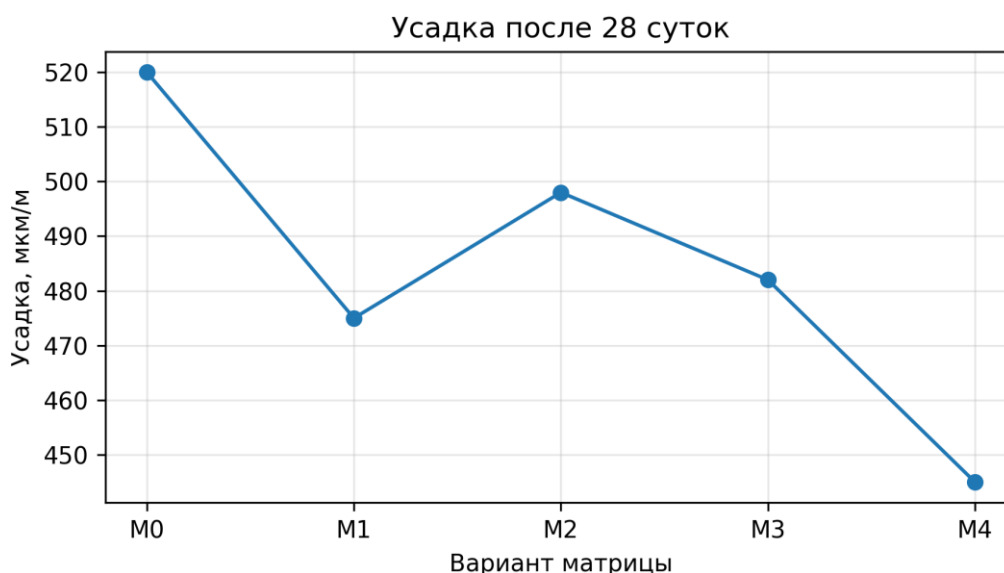


Рисунок 4. Усадка матричных вариантов через 28 суток.

Усадочные деформации также уменьшались при использовании комплексного состава. В М4 значение $\varepsilon_{sh,28}$ составило 445 мкм/м, что на 14,4% ниже контрольного варианта. Снижение усадки связано с более плотной упаковкой частиц, уменьшением доли свободной капиллярной воды и более равномерным распределением внутренних напряжений в процессе твердения. Особенно важно, что улучшение достигнуто без увеличения плотности до уровня тяжелого бетона.

Таблица 4.

Расчетные показатели эффективности матричных вариантов

Вариант	$f_{c,28}/\rho$, МПа·м ³ /т	Прирост $f_{c,28}$, %	Снижение W, %	Снижение $\varepsilon_{sh,28}$, %	K_m
М0	31.8	0.0	0.0	0.0	1.00
М1	38.2	20.8	16.7	8.7	1.45
М2	35.1	10.1	9.5	4.2	1.22
М3	36.3	13.3	11.9	7.3	1.29
М4	41.7	32.7	28.6	14.4	1.86

Расчетные показатели подтверждают, что максимальная эффективность соответствует варианту М4: удельная прочность достигла 41,7 МПа·м³/т, а интегральный коэффициент K_m составил 1,86. Это означает, что матрица одновременно обеспечивает прирост прочности и снижение водопоглощения. Вариант М1 имеет высокий прочностной потенциал, но уступает М4 по комплексной оценке, так как не использует промежуточную фракцию известняковой муки и дополнительный керамический компонент. Вариант М2 демонстрирует лучшую

технологичность, что может быть полезно при необходимости повышения подвижности смеси, однако как конструкционная матрица он менее эффективен.

Полученные закономерности позволяют сформулировать технологическое объяснение: цементная матрица высокопрочного легкого бетона должна иметь непрерывную гранулометрическую кривую, в которой ультрадисперсные, тонкодисперсные и мелкие минеральные частицы занимают различные уровни порового пространства. При этом реакционно-активный компонент должен сочетаться с менее активными, но технологически стабильными микронаполнителями. Такая система уменьшает водопотребность, повышает плотность контактной зоны и снижает вероятность образования капиллярных каналов.

Заключение

1. На основе местных и вторичных минеральных ресурсов сформирована система микронаполнителей для высокопрочного легкого фибробетона, включающая МК-85, известняковую муку и порошок керамического кирпичного боя.

2. Комплексная матрица М4 обеспечила наилучшее сочетание свойств: прочность при сжатии 67,0 МПа, прочность при изгибе 7,5 МПа, водопоглощение 6,0% и усадку 445 мкм/м.

3. Основной механизм улучшения связан с многоуровневым уплотнением структуры, снижением капиллярной пористости и формированием более прочной контактной зоны между минеральными частицами и цементным камнем.

4. Самостоятельное применение известняковой муки улучшает технологичность, а керамический порошок повышает ресурсную эффективность состава; максимальный конструкционный эффект достигается при их совместном применении с микрокремнеземом.

5. Предложенный подход может быть использован при разработке легких бетонов для условий жаркого и сухого климата, где одновременно требуются высокая удельная прочность, ограниченная усадка и сниженное водопоглощение.

Список литературы

- [1]. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: АСВ, 2011.
- [2]. Калашников В.И. Высокопрочные и высокофункциональные бетоны. Пенза: ПГУАС, 2018.
- [3]. Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. London: Pearson Education, 2011.
- [4]. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- [5]. Chandra S., Berntsson L. Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology and Applications. Norwich: Noyes Publications, 2002.
- [6]. Bentur A., Mindess S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. London: Taylor & Francis, 2007.
- [7]. Ramachandran V.S. Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science and Technology. New Jersey: Noyes Publications, 1995.
- [8]. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия.
- [9]. ГОСТ Р 58894-2020. Микрокремнезем конденсированный для бетонов и строительных растворов. Технические условия.
- [10]. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний.
- [11]. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
- [12]. ГОСТ 12730.1-2020. Бетоны. Методы определения плотности.
- [13]. ГОСТ 12730.3-2020. Бетоны. Методы определения водопоглощения.
- [14]. ГОСТ 24544-2020. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести.
- [15]. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.

QURUQ QORISHMALAR ASOSIDAGI YENGIL G'OVAK BETONLARNI OPTIMALLASHTIRISH

A. Ilyasov¹, R. Auezbaev²

¹*Qoraqalpoq davlat universiteti,*

E-mail: allanazar86@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6973-4545>

²*Toshkent davlat transport universiteti,*

Annotatsiya: Maqolada g'ovakli to'ldirgichlardan foydalanib, mexanik faollashtirilgan quruq qurilish aralashmalari asosida olinadigan yengil g'ovakbetonlarni qo'llash istiqbollari ko'rib chiqilgan. Keramzit, ko'pikli shisha va ko'pirtirilgan polistirol granularining materialning fizik-mexanik hamda issiqlik izolyatsiyalovchi xossalriga ta'siri tahlil qilingan. Quruq aralashmalardan foydalanish tarkibning barqarorligini, ishlab chiqarishning texnologik ishonchliligini va mahsulotlarning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilashini ta'minlashi aniqlangan. Olingan natijalar o'z xususiyatlari bo'yicha avtoklavli gazobetonga qiyoslanadigan konstruksiyaviy-issiqlik izolyatsiyalovchi betonlarni yaratish imkoniyati mavjudligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: g'ovakli beton, quruq qurilish qorishmalari, ko'pikbeton, gazobeton, keramzit, ko'pikli shisha, issiqlik izolyatsiyasi, devorbop materiallar.

Аннотация: В статье рассмотрены перспективы применения лёгких ячеистых бетонов, получаемых на основе механически активированных сухих строительных смесей с использованием пористых заполнителей. Проанализировано влияние керамзита, гранул пеностекла и вспененного полистирола на физико-механические и теплоизоляционные свойства материала. Установлено, что использование сухих смесей обеспечивает стабильность состава, технологическую надёжность производства и улучшает эксплуатационные характеристики продукции. Полученные результаты показывают возможность создания конструкционно-теплоизоляционных бетонов, сопоставимых по своим свойствам с автоклавным газобетоном.

Ключевые слова: ячеистый бетон, сухие строительные смеси, пенобетон, газобетон, керамзит, пеностекло, теплоизоляция, стеновые материалы.

Abstract: This article examines the prospects of using lightweight porous concrete obtained from mechanically activated dry construction mixes with porous aggregates. The influence of expanded clay, foam glass, and expanded polystyrene granules on the physicomachanical and thermal insulation properties of the material is analyzed. It was determined that the use of dry mixes ensures compositional stability, technological reliability in production, and improves the operational characteristics of the products. The results obtained indicate the possibility of creating structural and thermal-insulating concretes that are comparable in their properties to autoclaved aerated concrete.

Keywords: porous concrete, dry construction mixes, foam concrete, aerated concrete, expanded clay, foam glass, thermal insulation, wall materials.

Kirish

Zamonaviy qurilish binolarning tashqi va ichki devorlarini barpo etish uchun energiya tejankor, uzoq muddatga chidamli va iqtisodiy jihatdan foydali materiallarni ishlab chiqishni talab qiladi. Uy-joy qurilishi hajmining ortishi hamda binolarning issiqlik himoyasiga qo'yiladigan talablarning kuchayishi devorbop materiallar sohasida yangi yechimlar izlash zaruratini yuzaga keltirmoqda.

Nisbatan yuqori mustahkamlik, past zichlik va yaxshi issiqlik izolyatsiyasi xususiyatlarini o'zida mujassam etgan yengil g'ovakli betonlarni qo'llash eng istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Bunday materiallar sirasiga ko'pikli beton, gazbeton va g'ovak to'ldirgichlarga asoslangan turli yengil betonlar kiradi.

Tarkibning o'zgarmasligini ta'minlaydigan, inson omili ta'sirini kamaytiradigan va tayyor mahsulot sifatini oshiradigan quruq qurilish aralashmalaridan foydalanish alohida qiziqish uyg'otadi. Tarkibga qo'shimcha ravishda g'ovakli to'ldirgichlar kiritilishi materialning zichligini pasaytirishga va uning issiqlik izolyatsiyasi xususiyatlarini yaxshilashga yordam beradi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi — devor konstruksiyalari uchun mo'ljallangan yengil konstruksion-issiqlik izolyatsiyalovchi betonlar olishda g'ovakli to'ldirgichli, mexanik faollashtirilgan quruq aralashmalarni qo'llash samaradorligini baholashdir.

Asosiy bog'lovchi sifatida M 400-D20 markali portlandsementdan foydalanildi. Quruq aralashmalarni tayyorlashda kvars qumi, mineral qo'shimchalar va ko'pik hosil qiluvchi komponentlar qo'llanildi.

G'ovakli to'ldirgichlar sifatida quyidagilardan foydalanildi:

- keramzit shag'ali;
- ko'pikshisha granulalari;
- ko'pirtirilgan polistirol granulalari.

Quruq aralashmalar yuqori tezlikda ishlovchi aralashtirgichda komponentlarni mexanik faollashtirish usuli yordamida tayyorlandi. Aralashtirib bo'lingach, quruq tarkibga bir xil massa hosil bo'lguncha suv qo'shildi.

Ishlab chiqilgan tarkiblarning samaradorligini baholash uchun quyidagi ko'rsatkichlar aniqlandi:

- o'rtacha zichlik;
- siqilishdagi mustahkamlik;
- issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti;
- sovuqqa chidamlilik;
- suv shimdirish.

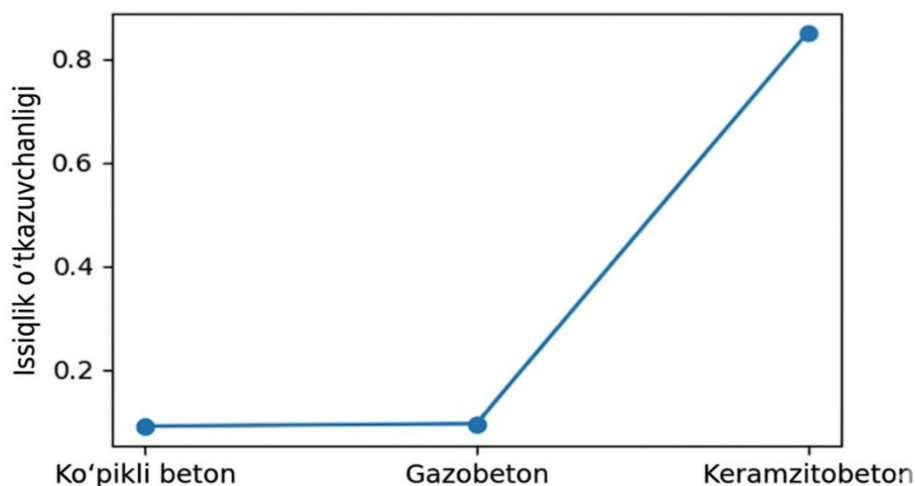
Sinovlar g'ovakli va yengil betonlar uchun amaldagi me'yoriy talablarga muvofiq o'tkazildi.

Tadqiqotlar g'ovakli to'ldirgichlardan foydalanish materialning mustahkamlik xususiyatlarini jiddiy yomonlashtirmagan holda uning zichligini sezilarli darajada kamaytirishga imkon berishini ko'rsatdi.

1-jadval.

Tadqiq etilayotgan materiallarning asosiy xossalari

Material	Zichlik, kg/m^3	Mustahkamlik, MPa	Issiqlik o'tkazuvchanligi, $\text{Wt/(m}\cdot\text{K)}$
Penobeton (quruq aralashma)	400	1.5-1.7	0.09
Gazobeton	400	2.24-2.32	0.095
Keramzitbeton	900-1200	3.5-25	0.75-0.95



Quruq qorishmalar asosida tayyorlangan penobeton eng past issiqlik o'tkazuvchanlikka ega ekanligi aniqlandi. Ushbu materialning mustahkamligi gazobetonga nisbatan biroz past bo'lsa-da, u yuqori energiya samaradorligini ta'minlaydi.

Penoshisha granulalaridan foydalanish betonning chidamliligi va sovuqqa bardoshliligini oshirishga yordam beradi. Ko'pirtirilgan polistirol esa mahsulotlar massasini qo'shimcha ravishda kamaytirish va bino yuk ko'taruvchi konstruksiyalariga tushadigan og'irlikni yengillashtirish imkonini beradi.

Komponentlarning mexanik faollashtirilishi sement zarrachalari va mineral qo'shimchalarning bir tekis taqsimlanishiga ko'maklashadi, bu esa o'z navbatida gidratatsiya jarayonlariga hamda beton strukturasining shakllanishiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Olingan natijalar yengil g'ovakli betonlar ishlab chiqarishda quruq qurilish aralashmalaridan foydalanish istiqbolli ekanini tasdiqlaydi. An'anaviy texnologiyalar bilan taqqoslaganda, quruq aralashmalar bir qator afzalliklarga ega:

- tarkibning barqarorligi;
- ishlab chiqarishda mehnat sarfini kamaytirish;
- tashish va saqlash qulayligi;
- ishlab chiqarishdagi yo'qotishlarni kamaytirish;
- tayyor mahsulotlar sifatini oshirish.

Qiyosiy tahlil shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqilgan materiallar issiqlik izolyatsiyasi xususiyatlari bo'yicha avtoklavli gazobetondan qolishmaydi. Shu bilan birga, ularni ishlab chiqarish texnologiyasi kamroq energiya talab qiladi va qimmatbaho avtoklav uskunalardan foydalanmasdan amalga oshirilishi mumkin.

G'ovakli to'ldirgichlarning turi va miqdorini o'zgartirish orqali materialning xossalarini sozlash imkoniyati alohida ahamiyat kasb etadi. Bu muayyan qurilish obyektining talablaridan kelib chiqib, turli maqsadlarga mo'ljallangan betonlar yaratishga imkon beradi.

Iqtisodiy tahlil shuni ko'rsatadiki, quruq aralashmalardan foydalanish devorbop mahsulotlarni ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirishga va kam qavatli binolar qurilishi samaradorligini oshirishga yordam beradi.

Xulosa

1. Mexanik faollashtirilgan quruq qurilish aralashmalaridan foydalanish devorbop konstruksiyalar uchun yengil g'ovakli betonlar olishning samarali usulidir.

2. Keramzit, ko'pikshisha va ko'pirtirilgan polistiroidan foydalanish material zichligining pasayishini va uning issiqlik izolyatsiyasi xususiyatlarining yaxshilanishini ta'minlaydi.

3. Quruq aralashmalar asosidagi ko'pikbeton taxminan $0,09 \text{ Vt/(m}\cdot\text{K)}$ ga teng issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi, bu esa energiya tejamkor qurilishning zamonaviy talablariga mos keladi.

4. Ishlab chiqilgan materiallardan kam qavatli va sanoat qurilishida konstruksion-issiqlik izolyatsiyalovchi buyumlar tayyorlash uchun foydalanish mumkin.

5. Keyingi tadqiqotlarning istiqbolli yo'nalishi quruq aralashmalar tarkibini optimallashtirish hamda betonlarning uzoq muddatli foydalanishdagi chidamliligini o'rganish hisoblanadi.

Adabiyotlar

- [1]. Adilxodjayev A.I. Stroitelniye materialy i izdeliya na osnove mestnogo sirya Uzbekistana. – Tashkent: Fan va texnologiya, 2021. – 356 s.
- [2]. Ismatov A.A., Raximov R.Z. Yacheistiye betoni i sovremenniye tekhnologii ix proizvodstva v usloviyax Uzbekistana Arxitektura, qurilish va dizayn. – 2022. –№ 3. – S. 25–32.
- [3]. Turdiyev A.S., Adilxodjayev A.I. Energoeffektivniye stroitelniye materialy dlya maloetajnogo stroitelstva Vestnik TASI. – 2021. –№ 4. – S. 18–24.
- [4]. Maxmudov M.M., Xodjayev B.M. Legkiye betoni na osnove poristix zapolniteley mestnogo proisxojdaniya Stroitelstvo i arxitektura Uzbekistana. – 2023. –№ 2. – S. 41–47. №
- [5]. Raximov R.Z., Ismatov A.A. Issledovaniye svoystv teploizolyatsionnix yacheistix betonov Molodoy ucheniy Uzbekistana. – 2022. –№ 5. – S. 52–58.
- [6]. Adilxodjayev A.I., Umarov Sh.A. Sovremenniye kompozitsionniye stroitelniye materialy. – Tashkent: TASI, 2020. – 412 s.
- [7]. Norkulov B.E., Abdulkarimov S.A. Povisheniye ekspluatatsionnix svoystv legkix betonov s ispolzovaniyem mineralnix dobavok Problemy arxitektury i stroitelstva. – 2024. –№1. – S. 33–39.
- [8]. Adilxodjayev A.I., Turdiyev A.S. Innovatsionniye stroitelniye materialy dlya energoeffektivnix zdaniy. – Tashkent: O'zbekiston, 2022. – 284 s.

ПОДБОР СОСТАВА И ОЦЕНКА СВОЙСТВ НЕАВТОКЛАВНОГО ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОГО ПЕНОБЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО КОЙТАШСКИМ ВОЛЛАСТОНИТОМ И БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ

Ж.А. Хамраев

*Каракалпакский государственный университет, Каракалпакстан, Узбекистан***Автор для корреспонденции, e-mail: javlonkhamraev@gmail.com**ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2379-8786>**(Получена 03.09.2026 г.)*

Аннотация (русский). В статье рассмотрен подбор состава неавтоклавного цементно-зольного пенобетона, модифицированного койташским волластонитом и базальтовым волокном. Целью исследования является повышение устойчивости ячеистой структуры, укрепление межпоровых перегородок и улучшение соотношения между низкой плотностью, теплопроводностью и прочностью при сжатии. Дисперсный волластонит рассматривается как кальцийсиликатный минеральный модификатор, выполняющий функции микронаполнителя, центра кристаллизации и стабилизатора пенных пленок. Базальтовое волокно ограничивает усадочное микротрещинообразование. Наиболее эффективным приемом установлено сухое смешивание волластонита с цементом и золой перед введением воды и технической пены. Оптимизированная система снизила осадку смеси с 14 до 6 мм, повысила прочность при сжатии в 28 суток с 1,30 до 1,92 МПа и уменьшила теплопроводность с 0,135 до 0,128 Вт/(м·°C) при сопоставимой плотности.

Ключевые слова: пенобетон; цементно-зольное вяжущее; койташский волластонит; базальтовое волокно; теплопроводность; прочность при сжатии; усадка; ячеистая структура.

Abstract (English). The paper presents a composition-design approach for non-autoclaved cement-fly ash foam concrete modified with Koytash wollastonite and basalt fiber. Dispersed wollastonite stabilizes foam films, densifies interpore partitions and increases the closed-pore fraction. Basalt fiber complements this mechanism by micro-reinforcement and shrinkage-crack control. Dry blending of wollastonite with cement and fly ash was found to be the most effective addition method.

Keywords (English): foam concrete; cement-fly ash binder; Koytash wollastonite; basalt fiber; thermal conductivity; compressive strength; shrinkage; cellular structure.

Annotatsiya (o'zbek). Maqolada Ko'ytosh (Jizzax) vollastoniti va bazalt fibra bilan modifikatsiyalangan avtoklavsiz sement-kulli ko'pikbeton tarkibini tanlash masalasi yoritilgan. Dispers vollastonit ko'pik plyonkalarini barqarorlashtiradi, g'ovaklararo to'siqlarni zichlashtiradi va yopiq g'ovaklik ulushini oshiradi. Bazalt fibra esa mikroarmirlash orqali kirishish deformatsiyalari va mikro yoriqlanishni kamaytiradi.

Kalit so'zlar: ko'pikbeton; sement-kulli bog'lovchi; Ko'ytosh vollastoniti; bazalt fibra; issiqlik o'tkazuvchanlik; siqilishdagi mustahkamlik; kirishish; yacheykali tuzilma.

1. Введение

Современное строительство требует эффективных теплоизоляционных материалов, сочетающих низкую плотность, малую теплопроводность, пожарную безопасность, долговечность и экономическую целесообразность. Неавтоклавный пенобетон относится к числу перспективных легких цементных материалов, поскольку его ячеистая структура уменьшает долю твердой фазы, по которой передается тепловой поток. В условиях жаркого и сухого климата ранняя потеря влаги может усиливать усадочные деформации и микротрещинообразование, поэтому устойчивость поровой системы и прочность межпоровых перегородок имеют решающее значение.

Основная технологическая проблема пенобетона заключается не только в образовании пор, но и в их сохранении до момента, когда цементная матрица приобретает достаточную структурную прочность. При несовместимости технической пены с минеральной пастой возникают дренаж жидкости, осадка, коалесценция пузырьков и расслоение. Эти процессы приводят к росту средней плотности, ухудшению теплозащитных свойств и снижению прочности при сжатии. Использование золы-уноса улучшает реологические свойства и

способствует позднему пуццолановому уплотнению матрицы, однако одной золы недостаточно для надежной стабилизации ячеистой системы в раннем возрасте.

Эффективным направлением является введение минеральных модификаторов, химически совместимых с продуктами гидратации цемента. Волластонит представляет собой кальцийсиликатный минерал с цепочечной структурой. В дисперсном состоянии он может выполнять функции микронаполнителя, механического стабилизатора пенных пленок и подложки для кристаллизации гидратных новообразований. Койташский волластонит Жизакской области представляет практический интерес как местное минеральное сырье, позволяющее снизить зависимость от импортных модифицирующих добавок.

Базальтовое волокно применено как дополнительный микроармирующий компонент. Его задача состоит в ограничении раннего усадочного трещинообразования, перекрытии слабых зон вокруг пор и перераспределении локальных растягивающих напряжений. Совместное применение дисперсного волластонита и базальтового волокна должно улучшать отношение прочности к плотности без ухудшения теплоизоляционных свойств.

2. Материалы и методы

Материальная система разработана на основе доступных местных сырьевых компонентов. В качестве вяжущего применяли портландцемент СЕМ I 32,5 и СЕМ I 42,5. Зола-унос Янги-Ангренской ТЭС использовалась как тонкодисперсный алюмосиликатный компонент и частичная замена цемента. Койташский волластонит вводился в виде рудной и дисперсной фракций, полученных путем сушки, измельчения и классификации. Для получения технической пены использовали белковый пенообразователь с рабочей концентрацией 2,5%. Рубленое базальтовое волокно применяли для повышения трещиностойкости.

Таблица 1.

Сырьевые материалы и их функции в пенобетонной системе.

Материал	Источник или тип	Назначение в системе
Портландцемент	СЕМ I 32,5 / СЕМ I 42,5	Формирование цементной матрицы и ранней прочности
Зола-унос	Янги-Ангренская ТЭС	Алюмосиликатный компонент и пуццолановое уплотнение
Койташский волластонит	Рудная и дисперсная фракции	Стабилизация пены, микронаполнение и центры кристаллизации
Базальтовое волокно	Рубленое минеральное волокно	Микроармирование и снижение усадочного трещинообразования
Пенообразователь	Белковый рабочий раствор	Формирование устойчивой технической пены
Вода	Питьевая вода	Среда затворения и приготовления пенного раствора

Рудный волластонит предварительно высушивали для снижения агломерации, затем измельчали до получения дисперсной фракции с целевой удельной поверхностью порядка 2000-4000 см²/г. При оценке устойчивости пены тонкость условно рассматривали на уровнях 200, 300 и 450 м²/кг. Сравнивались три способа введения добавки: предварительное диспергирование в воде, минерализация пенного раствора и сухое смешивание с цементом и золой.

Пенобетон готовили по двухстадийной схеме. На первом этапе отдельно получали техническую пену; на втором этапе готовили цементно-зольную пасту с минеральным модификатором. Сухие компоненты перемешивали 1,5-2 мин, после введения воды смесь

гомогенизировали 3-4 мин. Пену вводили на заключительной стадии при мягком режиме перемешивания, чтобы исключить чрезмерную коалесценцию воздушных пор. Устойчивость свежей смеси оценивали по осадке через 60 мин и визуальным признакам расслоения. Для затвердевшего материала определяли сухую плотность, прочность при сжатии в 7, 28 и 90 суток, теплопроводность, усадку и параметры поровой структуры.

Таблица 2.

Составы пенобетона для сравнительной оценки (на 1 м³).

Состав	Целевая плотность	Цемент, кг	Зола, кг	Вода, л	Пенный раствор, л	Модификатор
T0	D600	235	141	184	410	Контроль
T1	D600	230	138	182	420	Рудн. волл. 1,0% + вол. 1,0
T2	D600	230	138	183	425	Дисп. волл. 1,5% + вол. 1,0
T3	D600	228	137	183	430	Дисп. волл. 1,5% + вол. 1,5
T5	D400	185	111	152	540	Дисп. волл. 1,5% + вол. 1,5

3. Результаты и обсуждение

3.1. Устойчивость свежей смеси

Введение койташского волластонита повысило устойчивость свежей пенобетонной смеси. Контрольный состав через 60 мин имел осадку 14 мм и признаки укрупнения пор. Рудная фракция снизила осадку до 9-11 мм, а дисперсная фракция - до 6-8 мм. Наилучший результат получен при содержании дисперсного волластонита 1,0-1,5% от массы вяжущего, когда видимого расслоения не наблюдалось. Такой эффект объясняется способностью тонких кальцийсиликатных частиц проникать в межпоровые перегородки и формировать минерализованный слой вокруг воздушных пузырьков.

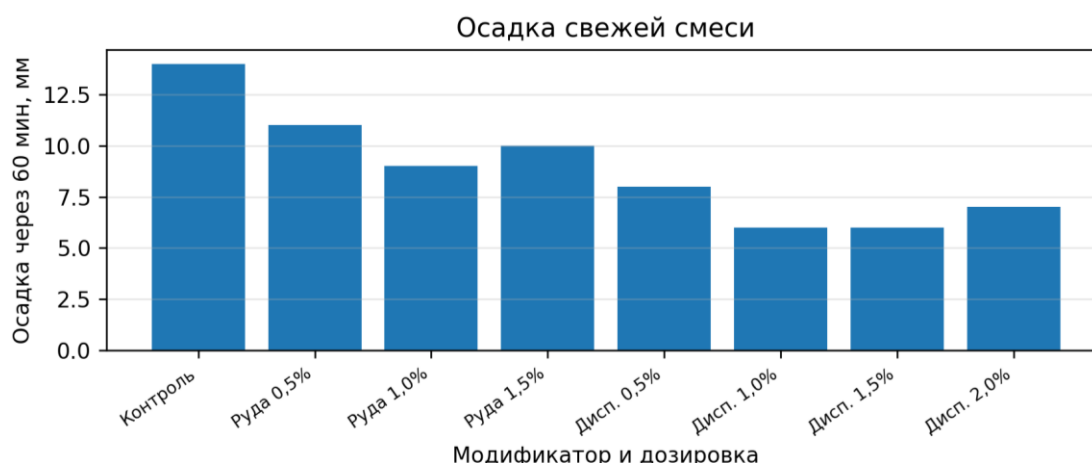


Рисунок 1. Осадка свежего пенобетона в зависимости от фракции и дозировки волластонита.

Снижение осадки имеет важное технологическое значение, поскольку показывает, что пена сохраняется до набора цементной матрицей начальной структурной прочности. Кроме того, меньшая осадка указывает на более равномерное распределение пор по высоте изделия, что необходимо для стабильных теплофизических и механических характеристик.

3.2. Устойчивость пены и тонкость волластонита

Индекс устойчивости пены зависел как от дозировки, так и от тонкости дисперсного волластонита. Наиболее благоприятная область соответствовала удельной поверхности

около 300 м²/кг и дозировке 1,0-1,5% от массы вяжущего. В этих условиях S_{pct} достигал 0,94-0,95. При меньшей тонкости эффект микронаполнения и образования центров кристаллизации был слабее. Чрезмерно тонкий материал не давал пропорционального повышения устойчивости, что связано с ростом водопотребности и риска капиллярного дренажа.

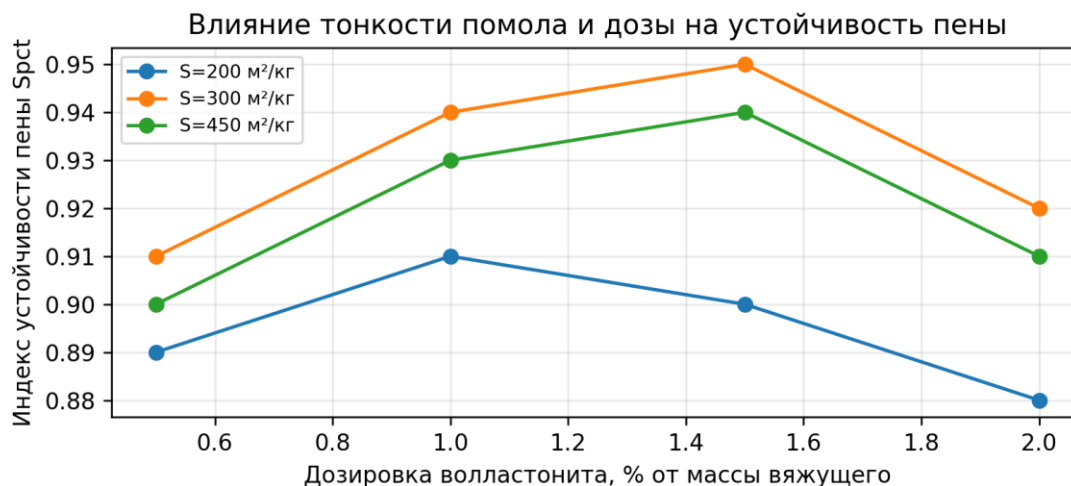


Рисунок 2. Индекс устойчивости пены в зависимости от дозировки и тонкости дисперсного волластонита.

3.3. Способ введения волластонита

Способ введения добавки существенно повлиял на итоговые свойства. Лучшее сочетание плотности, теплопроводности и прочности получено при сухом смешивании волластонита с цементом и золой до введения воды и пены. Этот прием обеспечил однородное распределение модификатора и снизил вероятность локальной агломерации, характерной для предварительного диспергирования в воде. Минерализация пенного раствора повышала устойчивость, но требовала более строгого контроля концентрации пены и времени перемешивания.

Таблица 3.

Влияние способа введения волластонита на основные свойства.

Способ введения	Сухая плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°C)	Прочность 28 сут, МПа
Диспергирование в воде	545	0,132	1,70
Минерализация пенного раствора	540	0,131	1,82
Сухое смешивание с цементом и золой	532	0,128	1,92

3.4. Свойства затвердевшего пенобетона

Совместное модифицирование дисперсным волластонитом и базальтовым волокном обеспечило наиболее сбалансированное улучшение характеристик. По сравнению с контрольным составом Т0 состав Т3 имел меньшую сухую плотность, более низкую теплопроводность и более высокую прочность при сжатии. Прочность в 28 суток увеличилась с 1,30 до 1,92 МПа, то есть примерно на 48%. Прочность в 90 суток возросла с 1,55 до 2,25 МПа, что указывает на продолжающееся уплотнение минеральной системы в более позднем возрасте.

Таблица 4.
Физико-механические и теплотехнические характеристики выбранных составов.

Состав	Плотность, кг/м ³	λ , Вт/(м·°C)	R7, МПа	R28, МПа	R90, МПа	Усадка, мм/м
T0	560	0,135	0,85	1,30	1,55	1,12
T2	538	0,130	1,05	1,78	2,05	0,98
T3	532	0,128	1,15	1,92	2,25	0,82
T5	420	0,104	0,62	0,95	1,12	0,78

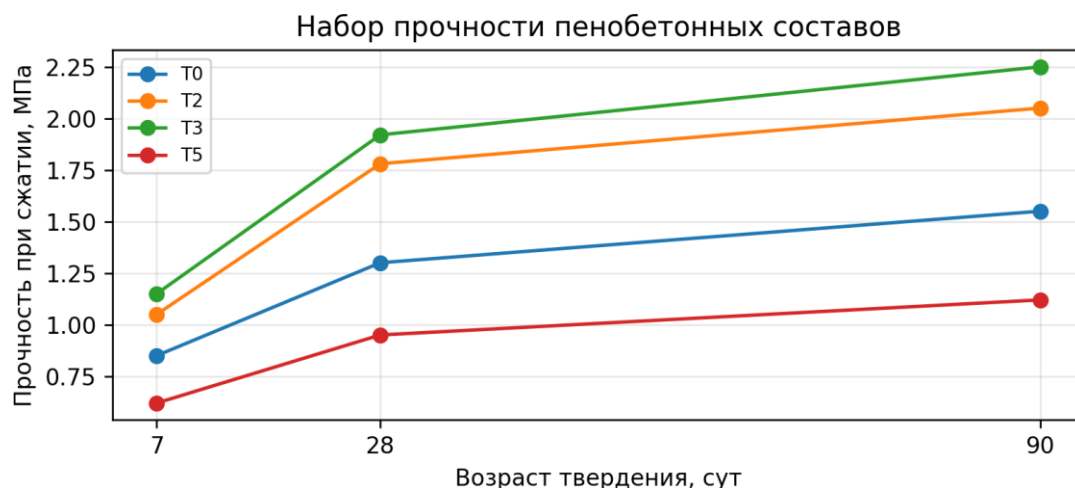


Рисунок 3. Набор прочности контрольного и модифицированных составов.

Теплопроводность изменялась в соответствии с ожидаемой зависимостью от сухой плотности. Однако сравнение составов T0 и T3 показывает, что плотность не является единственным определяющим фактором. Состав T3 имел более низкую теплопроводность не только за счет небольшого снижения плотности, но и вследствие увеличения доли закрытых пор и сокращения открытой капиллярной пористости. Состав T5 класса D400 достиг минимальной теплопроводности 0,104 Вт/(м·°C) и может рассматриваться для теплоизоляционных применений, где высокая несущая способность не является главным требованием.

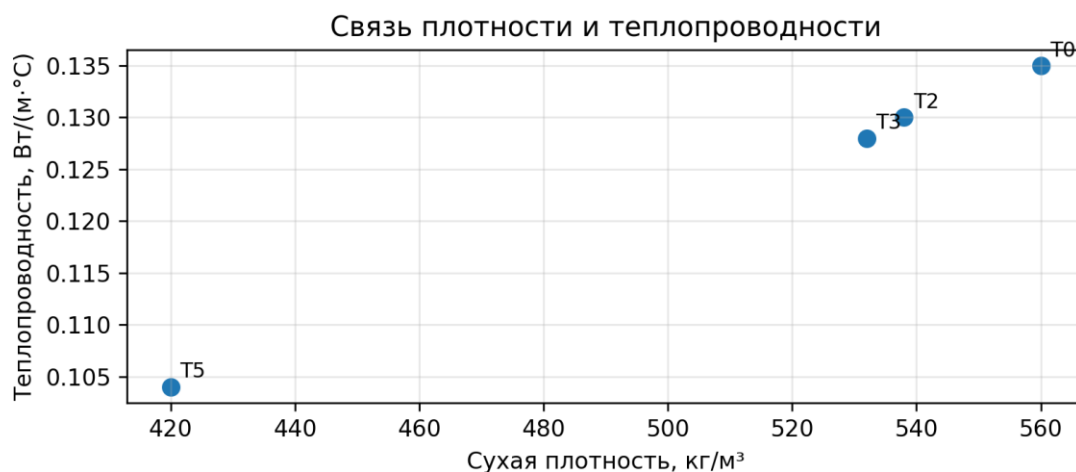


Рисунок 4. Связь сухой плотности и теплопроводности.

3.5. Поровая структура и механизм улучшения

Данные по поровой системе подтверждают предложенный структурный механизм. Общая пористость практически не изменилась, однако доля закрытых пор увеличилась с 46 до 52%, а открытая капиллярная пористость уменьшилась с 16 до 11%. Средний радиус пор также снизился. Эти изменения объясняют одновременное уменьшение теплопроводности и усадочных деформаций. Дисперсный волластонит действует как микронаполнитель и подложка для гидратных новообразований, а базальтовое волокно перекрывает слабые зоны и усложняет путь распространения трещин.

Таблица 5.
Параметры поровой системы контрольного и модифицированного пенобетона.

Показатель	Т0 контроль	Т3 волластонит + волокно
Общая пористость, %	62	63
Доля закрытых пор, %	46	52
Открытая капиллярная пористость, %	16	11
Средний радиус пор, мм	0,65	0,40
Коэффициент распределения	0,65	0,50

Практическое окно оптимизации может быть определено следующим образом: дисперсный койташский волластонит с удельной поверхностью около 300 м²/кг, дозировка 1,0-1,5% от массы вяжущего, базальтовое волокно 1,0-1,5 кг/м³, белковый пенообразователь с рабочей концентрацией 2,5%, отношение зола/цемент около 0,60 и W/S около 0,49. В условиях жаркого и сухого климата первые 24-48 ч твердения должны сопровождаться защитой от быстрого испарения влаги.

4. Заключение

- Дисперсный койташский волластонит эффективнее рудной фракции стабилизировал свежую пенобетонную смесь. При дозировке 1,0-1,5% от массы вяжущего осадка уменьшилась с 14 до 6 мм, а видимое расслоение было устранено.
- Оптимальная тонкость дисперсного волластонита находилась около 300 м²/кг. В этом диапазоне индекс устойчивости пены достигал 0,94-0,95, тогда как дальнейшее увеличение тонкости не давало пропорционального эффекта.
- Наиболее эффективным способом введения является сухое смешивание волластонита с цементом и золой до введения воды и пены. При этом получены сухая плотность 532 кг/м³, теплопроводность 0,128 Вт/(м·°С) и прочность при сжатии в 28 суток 1,92 МПа.
- Совместное модифицирование дисперсным волластонитом и базальтовым волокном повысило 28-суточную прочность примерно на 48% и снизило усадку примерно на 27% по сравнению с контрольным составом.
- Улучшение связано с минерализацией пенных пленок, образованием центров кристаллизации на частицах волластонита, микронаполнением межпоровых перегородок, армирующим действием волокна, увеличением доли закрытых пор и снижением открытой капиллярной пористости.

Список литературы

- [1]. Ramamurthy K., Nambiar E. K. K., Ranjani G. I. S. A classification of studies on properties of foam concrete. Cement and Concrete Composites, 2009.
- [2]. Nambiar E. K. K., Ramamurthy K. Air-void characterization of foam concrete. Cement and Concrete Research, 2007.
- [3]. Jones M. R., McCarthy A. Behaviour and assessment of foamed concrete for construction applications. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 2005.
- [4]. Neville A. M. Properties of Concrete. Pearson Education, 5th edition.

- [5]. Taylor H. F. W. Cement Chemistry. Thomas Telford Publishing.
 [6]. ASTM C495/C495M. Standard Test Method for Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete.
 [7]. ACI 523.1R. Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular Concrete. American Concrete Institute.

UDK 666.973:691.32

TURLI XIL NISBATDAGI KUL UCHQINDISI VA MAYDALANGAN DONADOR DOMNA SHLAKIDAN TAYYORLANGAN GEOPOLIMER BETONNING MUSTAHKAMLIK XUSUSIYATLARI

A.T. Ilyasov^{1*}, A.K. Nazibekov²

¹Qoraqalpoq davlat universiteti

* Mas'ul muallif, e-mail: allanazar86@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6973-4545>

²Toshkent davlat transport universiteti

E-mail: azamatnazibekov@gmail.com

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

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya. Maqolada kul uchqindisi va maydalangan donador domna shlaki asosidagi bir qismli geopolimer betonlarning mustahkamlik ko'rsatkichlari taqqoslandi. Tahlil uchun 70/30 va 60/40 kul/shlak nisbatiga ega, suvning boshlang'ich xomashyoga nisbati 0,45 bo'lgan hamda suvsiz natriy metasilikat va qattiq natriy gidroksid asosidagi faollashtiruvchi tizim bilan tayyorlangan ikki tarkib tanlandi. Tahlil natijalariga ko'ra, GPB60/40 tarkibi 28 sutkada 35,0 MPa siqilishdagi mustahkamlikka erishib, GPB70/30 tarkibidan 37,3% yuqori natija ko'rsatdi. Egilishdagi mustahkamlik ham GPB60/40 tarkibida yuqoriroq bo'lib, 28 sutkada 3,95 MPa ni tashkil etdi.

Kalit so'zlar: bir qismli geopolimer beton; kul uchqindisi; domna shlaki; suvsiz natriy metasilikat; natriy gidroksid; siqilishdagi mustahkamlik; egilishdagi mustahkamlik.

Аннотация. В статье проведено сравнение прочностных показателей однокомпонентных геополимерных бетонов на основе золы-уноса и молотого гранулированного доменного шлака. Для анализа были выбраны два состава: с соотношением зола/шлак 70/30 и 60/40. Оба состава имели водо-вяжущее отношение к исходным алюмосиликатным компонентам 0,45 и были приготовлены с использованием твердой активированной системы, состоящей из безводного метасиликата натрия и твердого гидроксида натрия. По результатам анализа состав GPB60/40 достиг прочности при сжатии 35,0 МПа в возрасте 28 суток, что на 37,3% выше показателя состава GPB70/30. Прочность при изгибе также оказалась выше у состава GPB60/40 и через 28 суток составила 3,95 МПа.

Ключевые слова: однокомпонентный геополимерный бетон; зола-унос; доменный шлак; безводный метасиликат натрия; гидроксид натрия; прочность при сжатии; прочность при изгибе.

Abstract. This article compares the strength performance of one-part geopolimer concretes based on fly ash and ground granulated blast-furnace slag. Two mixtures were selected for analysis: one with a 70/30 fly ash/slag ratio and the other with a 60/40 fly ash/slag ratio. Both mixtures had a water-to-precursor ratio of 0.45 and were prepared using a solid activator system consisting of anhydrous sodium metasilicate and solid sodium hydroxide. According to the analysis results, the GPB60/40 mixture achieved a 28-day compressive strength of 35.0 MPa, which was 37.3% higher than that of GPB70/30. Flexural strength was also higher in the GPB60/40 mixture, reaching 3.95 MPa at 28 days.

Keywords: one-part geopolimer concrete; fly ash; blast-furnace slag; anhydrous sodium metasilicate; sodium hydroxide; compressive strength; flexural strength.

1. Kirish. Oddiy portlandsement beton ishlab chiqarishda asosiy bog'lovchi modda bo'lib qolmoqda. Biroq sement ishlab chiqarish jarayonida katta miqdorda energiya sarflanishi va karbonat angidrid ajralishi qurilish materiallari sohasida muqobil bog'lovchilarni izlash zaruratini kuchaytirdi. Geopolimer bog'lovchilar sanoat chiqindilari yoki ikkilamchi xomashyolardan foydalanish imkonini berishi, sement klinkeri sarfini kamaytirishi va yetarli mexanik xossalarni ta'minlashi bilan e'tibor qozonmoqda.

Bir qismli geopolimer betonning asosiy afzalligi shundaki, quruq boshlang'ich xomashyolar va qattiq ishqoriy faollashtiruvchilar avval aralashtiriladi, so'ng qorishmaga suv qo'shiladi. Bunday "faqat suv qo'shish" yondashuvi suyuq ishqoriy eritmalarini oldindan tayyorlash, saqlash va tashish bilan bog'liq xavflarni kamaytiradi. Shu bilan birga, bir qismli tizimlarda mustahkamlik xomashyo tarkibi, domna shlaki ulushi, faollashtiruvchi turi va suv miqdoriga juda sezgir bo'ladi.

Kul uchqindisi xona haroratida nisbatan sekin reaksiyaga kirishadi, domna shlaki esa tarkibidagi reaktiv kalsiyli fazalar tufayli bog'lovchi gel mahsulotlarining tezroq shakllanishiga yordam beradi. Shuning uchun kul uchqindisi va domna shlaki nisbatini tanlash bir qismli geopolimer betonning siqilishdagi hamda egilishdagi mustahkamligiga bevosita ta'sir etadi. Ushbu maqolaning maqsadi 70/30 va 60/40 kul/shlak nisbatlaridagi ikki geopolimer beton tarkibini mustahkamlik nuqtai nazaridan taqqoslashdir. Tanlangan tarkiblar mos ravishda GPB70/30 va GPB60/40 deb nomlandi.

2. Materiallar. Tahlil qilingan ikki tarkib F sinfli kul uchqindisi va maydalangan donador domna shlakidan iborat alyumosilikatli boshlang'ich xomashyolarga asoslangan. Har ikkala beton tarkibida umumiy boshlang'ich xomashyo miqdori 400 kg/m^3 (GPB70/30 da 70 foiz kul uchqindisi va 30 foiz domna shlaki, GPB60/40 da esa 60 foiz kul uchqindisi hamda 40 foiz domna shlaki), qum 600 kg/m^3 , yirik to'ldiruvchilar esa 10-20 mm fraksiyalarda 1200 kg/m^3 qilib olingan. Suv sarfi 180 kg/m^3 bo'lib, suvning boshlang'ich xomashyoga nisbati 0,45 ni ($S/Bx=0.45$) tashkil etgan. Qattiq faollashtiruvchi tizim $33,3 \text{ kg/m}^3$ suvsiz natriy metasilikat va $16,7 \text{ kg/m}^3$ natriy gidroksid granulalaridan iborat.

1-jadval.

GPB70/30 va GPB60/40 tarkiblarining asosiy komponentlari

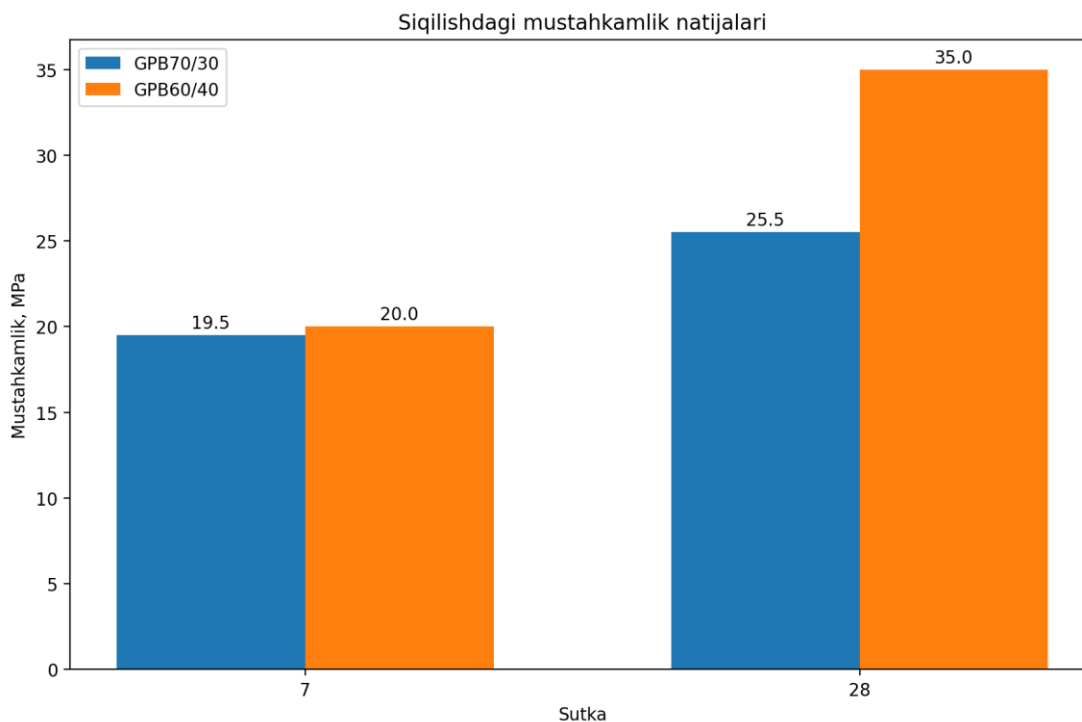
Tarkib belgisi	Kul uchqindisi, kg/m^3	Domna shlaki, kg/m^3	Suv, kg/m^3	Natriy metasilikat, kg/m^3	Natriy gidroksid, kg/m^3	S/Bx	Kul/shlak nisbati
GPB70/30	280	120	180	33,3	16,7	0,45	70/30
GPB60/40	240	160	180	33,3	16,7	0,45	60/40

Izoh: GPB - geopolimer beton; S/Bx - suvning boshlang'ich alyumosilikat xomashyoga nisbati.

3. Natijalar

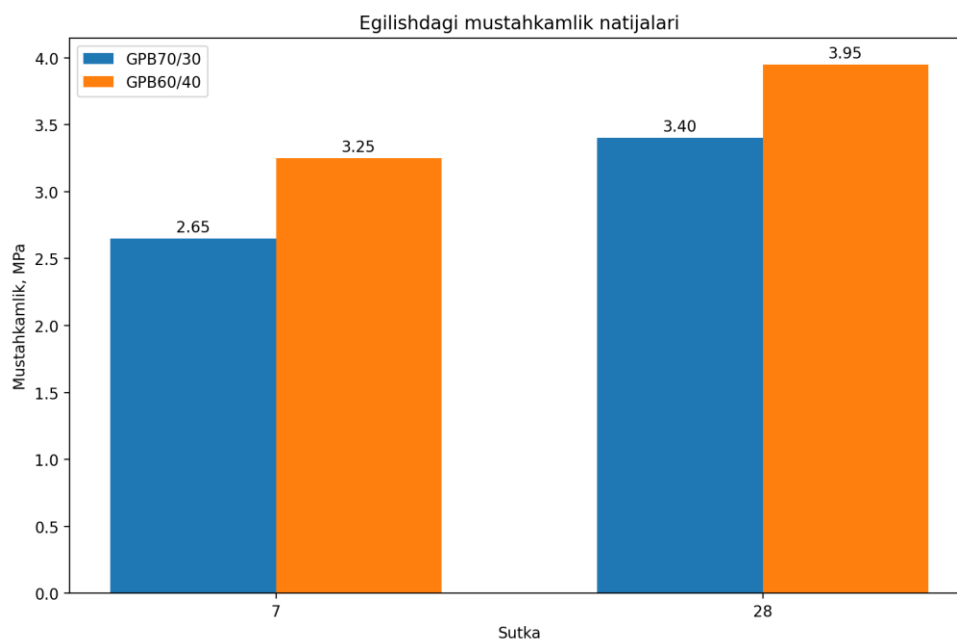
3.1. Siqilishdagi mustahkamlik. GPB70/30 tarkibi 7 sutkada $19,5 \text{ MPa}$, 28 sutkada esa $25,5 \text{ MPa}$ siqilishdagi mustahkamlikka erishdi. GPB60/40 tarkibida 7 sutkalik siqilishdagi mustahkamlik $20,0 \text{ MPa}$ bo'lib, GPB70/30 tarkibiga juda yaqin bo'ldi. Biroq 28 sutkada GPB60/40 tarkibi $35,0 \text{ MPa}$ natija ko'rsatdi. Bu GPB70/30 tarkibiga nisbatan $9,5 \text{ MPa}$ yoki taxminan 37,3% yuqori ko'rsatkichdir.

7 sutkadan 28 sutkagacha bo'lgan mustahkamlik rivojlanishi ham ikki tarkibda turlicha kechdi. GPB70/30 tarkibida 28 sutkalik natija 7 sutkalik qiymatdan 30,8% yuqori bo'lgan bo'lsa, GPB60/40 tarkibida bu o'sish 75,0% ni tashkil etdi. Demak, 40% domna shlaki ulushi nafaqat yakuniy mustahkamlikni, balki keyingi yoshdagi mustahkamlik rivojlanishini ham sezilarli darajada kuchaytirgan.



1-rasm. GPB70/30 va GPB60/40 tarkiblarining 7 va 28 sutkadagi siqilishdagi mustahkamlik ko'rsatkichlari.

3.2. Egilishdagi mustahkamlik. Egilishdagi mustahkamlik natijalari ham GPB60/40 tarkibining ustunligini ko'rsatdi. GPB70/30 tarkibida 7 va 28 sutkalik egilishdagi mustahkamlik mos ravishda 2,65 va 3,40 MPa bo'ldi. GPB60/40 tarkibida esa bu qiymatlar 3,25 va 3,95 MPa ni tashkil etdi. 28 sutkalik egilishdagi mustahkamlik GPB60/40 tarkibida GPB70/30 ga nisbatan 16,2% yuqori bo'ldi. Bu holat domna shlaki ulushi ortishi bilan bog'lovchi matritsaning yaxshiroq shakllanishi va yoriq paydo bo'lishiga qarshilikning ortishi mumkinligini ko'rsatadi.



2-rasm. GPB70/30 va GPB60/40 tarkiblarining 7 va 28 sutkadagi egilishdagi mustahkamlik ko'rsatkichlari.

GPB70/30 va GPB60/40 tarkiblarining mustahkamlik ko'rsatkichlari

Tarkib belgisi	7 kun siqilish, MPa	28 kun siqilish, MPa	7 kun egilish, MPa	28 kun egilish, MPa
GPB70/30	19,5	25,5	2,65	3,40
GPB60/40	20,0	35,0	3,25	3,95

4. Muhokama. Natijalar shuni ko'rsatadiki, GPB60/40 tarkibining ustunligi avvalo domna shlaki ulushining 30% dan 40% gacha oshirilishi bilan bog'liq. Domna shlaki tarkibida reaktiv kalsiyli fazalar ko'p bo'lgani sababli xona haroratida kalsiy-alumosilikat turidagi gel mahsulotlarining hosil bo'lishi tezlashadi. Bunday gel mahsulotlari natriy-alumosilikat gel bilan birgalikda zichroq bog'lovchi matritsa shakllanishiga yordam beradi. Natijada 60/40 nisbatli tarkibda siqilishdagi mustahkamlik sezilarli darajada yuqori bo'lgan.

GPB70/30 tarkibida kul uchqindisi miqdori yuqoriroq bo'lgani uchun reaksiyaning xona haroratida kechishi sekinlashgan bo'lishi mumkin. Past kalsiyli kul uchqindisining sferik zarrachalari qorishmaning ishlov beriluvchanligiga ijobiy ta'sir ko'rsatsa-da, qotgan holatda mustahkamlikning tez rivojlanishi uchun domna shlakidagi reaktiv kalsiyli komponentlar muhimroq ahamiyat kasb etadi. Shu sababli GPB70/30 tarkibi 7 sutkada GPB60/40 ga yaqin natija bergan bo'lsa ham, 28 sutkaga kelib sezilarli darajada ortda qoldi.

Egilishdagi mustahkamlik bo'yicha farq siqilishdagi mustahkamlikka qaraganda kichikroq bo'lsa-da, umumiy tendensiya bir xil: domna shlaki ulushining oshishi egilishdagi cho'zilish xatti-harakatini ham yaxshilagan. Egilishdagi mustahkamlik mikro-yoriqlar, g'ovaklar, bog'lovchi fazalarning bir jinsliliigi va to'ldiruvchi-matritsa chegaraviy zonasiga sezgir ko'rsatkich hisoblanadi. GPB60/40 tarkibidagi yuqoriroq natija bog'lovchi tizimning nisbatan zichroq va yaxlitroq shakllanganidan dalolat beradi.

Chidamlilik masalasida alohida aniqlik zarur. Tanlangan GPB70/30 va GPB60/40 tarkiblari bo'yicha kislota ta'siriga chidamlilik yoki xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanlik sinovi natijalari mavjud emas. Shuning uchun ushbu maqolada ular bo'yicha raqamli taqqoslash berilmadi. Biroq vizual kuzatuvlarda kul uchqindisi ulushi yuqori bo'lgan bir qismli tarkiblarda tuzlanish ko'proq namoyon bo'lgani, domna shlaki ulushi oshishi bilan esa bu holat kamaygani qayd etilgan. Bu GPB60/40 tarkibida reaksiyaga kirishmagan ishqoriy komponentlarning kamroq qolishi va matritsaning nisbatan zichroq bo'lishi bilan izohlanishi mumkin. Shunga qaramay, bunday kuzatuvni kislota yoki xloridga chidamlilikning to'g'ridan-to'g'ri o'lchovi sifatida qabul qilib bo'lmaydi; ushbu yo'nalishda alohida standart sinovlar talab etiladi.

5. Xulosa

- 1) GPB70/30 va GPB60/40 tarkiblari bir xil $S/B_x = 0,45$ va bir xil suvsiz natriy metasilikat–natriy gidroksid qattiq faollashtiruvchi tizimi sharoitida taqqoslandi.
- 2) GPB60/40 tarkibi 28 sutkada 35,0 MPa siqilishdagi mustahkamlikka erishib, GPB70/30 tarkibidan 37,3% yuqori natija ko'rsatdi.
- 3) Egilishdagi mustahkamlik 28 sutkada GPB60/40 tarkibida 3,95 MPa, GPB70/30 tarkibida esa 3,40 MPa bo'ldi; bu GPB60/40 tarkibining cho'zilish xatti-harakatiga sezgir ko'rsatkich bo'yicha ham ustunligini bildiradi.
- 4) 60/40 nisbatdagi domna shlaki ulushi qotgan matritsaning reaktivligi va zichligini oshirish orqali mustahkamlik rivojlanishiga ijobiy ta'sir ko'rsatgan deb baholandi.
- 5) Kislota ta'siri va xlorid ionlarining tez o'tkazuvchanligi bo'yicha aynan GPB70/30 va GPB60/40 tarkiblari uchun raqamli natijalar mavjud emasligi sababli chidamlilik bo'yicha yakuniy xulosa chiqarilmadi.
- 6) Amaliy nuqtai nazardan GPB60/40 tarkibi GPB70/30 ga nisbatan mustahkamlik bo'yicha maqsadga muvofiqroq tarkib sifatida baholandi.

Adabiyotlar

- [1]. Faridmehr I., Sahraei M.A., Nehdi M.L., Valerievich K.A. Optimization of Fly Ash-Slag One-Part Geopolymers with Improved Properties. *Materials*. 2023;16(6):2348. doi:10.3390/ma16062348.
- [2]. Teo W., Shirai K., Lim J.H., Jack L.B., Nikbakht E. Experimental Investigation on Ambient-Cured One-Part Alkali-Activated Binders Using Combined High-Calcium Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag. *Materials*. 2022;15(4):1612. doi:10.3390/ma15041612.
- [3]. Luukkonen T., Abdollahnejad Z., Ohenoja K., Kinnunen P., Illikainen M. Influence of sodium silicate powder silica modulus for mechanical and chemical properties of dry-mix alkali-activated slag mortar. *Construction and Building Materials*. 2020;233:117354. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117354.
- [4]. Neupane K. Fly ash and GGBFS based powder-activated geopolymer binders: A viable sustainable alternative of Portland cement in concrete industry. *Mechanics of Materials*. 2016;103:110-122. doi:10.1016/j.mechmat.2016.09.012.
- [5]. Nematollahi B., Sanjayan J., Shaikh F.U.A. Synthesis of heat and ambient cured one-part geopolymer mixes with different grades of sodium silicate. *Ceramics International*. 2015;41(4):5696-5704. doi:10.1016/j.ceramint.2014.12.154.
- [6]. Yousefi Oderji S., Chen B., Ahmad M.R., Shah S.F.A. Fresh and hardened properties of one-part fly ash-based geopolymer binders cured at room temperature: Effect of slag and alkali activators. *Journal of Cleaner Production*. 2019;225:1-10. doi:10.1016/j.jclepro.2019.03.290.

COMPREHENSIVE MODIFICATION OF CEMENT CONCRETE SURFACES BASED ON LOCAL RAW MATERIALS: ANALYTICAL REVIEW AND METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS

G.J. Shnekeeva, A.B. Kayratdinova

Karakalpak State University named after Berdaq

e-mail: aynurakayratdinova48q@mail.com

gshnekeyeva@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5078-0033>

<https://orcid.org/0009-0002-6728-3431>

(Received on September 3rd, 2026)

Annotatsiya. *Ishda Qoraqalpog'iston Respublikasi sharoiti va mahalliy mineral-xomashyo bazasining mavjudligini hisobga olgan holda sement-beton yo'l qoplamalarini kompleks modifikatsiyalashning dolzarbligi asoslangan. Past klinkerli bog'lovchilar, uchuvchan kul, domna shlaki, mikrokremnezem va mahalliy otqindi jinslar (andezit-bazaltlar, gabbroidlar va boshqalar) ga bag'ishlangan zamonaviy tadqiqotlar tahlili asosida yo'l betonlarini kompleks modifikatsiyalash konsepsiyasi taklif etildi. Klinkerning bir qismini 5-10% mikrokremnezem bilan birgalikda 20-50% miqdordagi faol mineral qo'shimchalar bilan almashtirish va oqilona havo yutuvchi modifikatsiyalash beton qoplamalarning mustahkamligini, sovuqqa chidamliligini va uzoq muddat xizmat qilishini oshirish, shu bilan birga klinkerning solishtirma sarfini va materiallar narxini pasaytirish imkonini berishi ko'rsatilgan [1-4], [6-13]. Mahalliy xomashyolar asosida sementbeton qoplamalar uchun qorishmalar tarkibini tanlash bo'yicha tavsiyalar bilan yig'ma jadvallar va diagrammalar ishlab chiqilgan.*

Kalit so'zlar: *sement-beton qoplamalar, mahalliy xomashyo, andezit-bazalt, gabbroid, olib ketuvchi kul, domna shlaki, mikrokremnezem, kam klinkerli bog'lovchilar, sovuqqa chidamlilik, uzoq muddat xizmat qilish.*

Аннотация. *В работе обоснована актуальность комплексной модификации цементобетонных дорожных покрытий с учетом условий Республики Каракалпакстан и наличия местной минерально-сырьевой базы. На основе анализа современных исследований, посвященных низкоклинкерным вяжущим, золе-уноса, доменному шлаку, микрокремнезему и местным изверженным породам (андезито-базальтам, габброидам и др.), предложена концепция комплексной модификации дорожных бетонов. Показано, что совмещенная замена части клинкера активными минеральными добавками в количестве 20–50% в сочетании с 5–10% микрокремнезема и рациональным воздухововлекающим модифицированием позволяет повысить прочность, морозостойкость и долговечность бетонных покрытий при одновременном снижении удельного расхода клинкера и стоимости материалов [1–4], [6–13]. Разработаны сводные таблицы и диаграммы с*

рекомендациями по подбору составов смесей для цементобетонных покрытий на основе местного сырья.

Ключевые слова: цементобетонные покрытия, местное сырье, андезитобазальт, габброид, зола-унос, доменный шлак, микрокремнезем, малоклинкерные вяжущие, морозостойкость, долговечность.

Abstract. The work substantiates the relevance of comprehensive modification of cement-concrete road surfaces, taking into account the conditions of the Republic of Karakalpakstan and the availability of local mineral raw material resources. Based on an analysis of modern research dedicated to low-clinker binders, slag ash, blast furnace slag, microcrystalline earth, and local igneous rocks (andezite-basalt, gabbroid, etc.), a concept for the comprehensive modification of road concretes has been proposed. It has been shown that the combined replacement of a portion of clinker with active mineral additives in an amount of 20–50%, combined with 5–10% microsilica and rational air-absorbing modification, allows for an increase in the strength, frost resistance, and durability of concrete pavements while simultaneously reducing the specific consumption of clinker and the cost of materials [1–4], [6–13]. Summary tables and diagrams with recommendations for selecting mixture compositions for cement concrete surfaces based on local raw materials have been developed.

Keywords: cement-concrete coatings, local raw materials, andezitobasalt, gabbroid, fly ash, blast furnace slag, microcrystalline earth, low-clinker binders, frost resistance, durability.

Introduction

In Uzbekistan, including the Republic of Karakalpakstan, technologies for the construction of roads with cement concrete pavements are actively developing. This is associated with the high bearing capacity and durability of such pavements under intensive freight traffic [1]. At the same time, the localization of construction material production and the reduction of imported clinker content through the use of local mineral resources and technogenic wastes are becoming increasingly important.

A number of studies carried out using the raw materials of Karakalpakstan have shown the high potential of andesite-basalt and gabbroid rocks, dune sands and ferruginous rocks as components of raw mixes for Portland cement clinker production [2-5]. In parallel, many countries are developing low-clinker cements with fly ash, ground granulated blast-furnace slag, silica fume and other pozzolans, which can improve frost resistance and concrete durability when curing conditions and air-entraining admixtures are properly selected [6-13].

The purpose of this work is to substantiate approaches to the complex modification of cement concrete pavements based on the local raw materials of Karakalpakstan and mineral additives, and to form recommendation tables and charts for concrete mix design without carrying out independent experimental research.

STATE OF THE PROBLEM AND RESEARCH TASKS

According to Miralimov and Abirov [1], the share of roads with cement concrete pavements in Uzbekistan is still considerably lower than that of asphalt concrete roads. However, cement concrete is considered the main pavement type for highways of international importance, where long service life and minimal rutting deformation are required. Domestic studies note that the transition to concrete pavements requires the adaptation of concrete compositions to local raw materials and climate, including large temperature variations, salt exposure, dry hot weather and periodic wetting.

For Karakalpakstan, an additional factor is the need for deeper processing of local igneous rocks - andesite-basalt, gabbroids and tuff breccias - within raw mixes for clinker and mineral additives to cement [2-5]. This can reduce transport distances and improve the resource independence of the region.

International practice shows that reducing the proportion of Portland cement clinker by using active mineral additives such as fly ash, ground granulated blast-furnace slag, silica fume and rice husk ash improves durability and environmental performance, provided that the water-to-binder ratio and pore structure are optimized [6-8], [12-14].

Studies on fly-ash concrete for road pavements indicate that cement replacement with fly ash at the level of 20-30% provides improved frost resistance,

lower water absorption and higher density of the C40 concrete structure while maintaining or increasing strength [7,13].

Silica fume in the amount of 3-10% of the binder mass is considered effective for densifying the cement stone, increasing strength and improving resistance to freeze-thaw cycles [8-11,14]. Against this background, the complex modification of road concretes becomes an urgent task. It involves the simultaneous use of local raw materials, both in clinker production and as mineral additives, and technogenic pozzolans such as fly ash and slag, together with silica fume and chemical admixtures.

MATERIALS AND METHODS OF THE ANALYTICAL STUDY

The study has an analytical and generalizing character and includes the following stages:

1. Analysis of literature sources on the raw-material base of Karakalpakstan for clinker production and mineral additives [2-5]; low-clinker cements and frost resistance of concrete [6]; road concretes with fly ash and slag [7,12,13]; and the influence of silica fume and nanosilica on strength and crack resistance [8-11,14].
2. Formation of a summarized database covering dosage ranges of mineral additives, obtained strength and deformation characteristics, frost resistance coefficients, changes in dynamic modulus of elasticity and water permeability.
3. Classification of modification variants by level: binder modification (low-clinker cements and additives), concrete structure modification (water-to-cement ratio, air entrainment and fibers), and adaptation to the local raw-material base (replacement of conventional aggregates and clinker components by local rocks).
4. Development of recommendation tables and graphs for the practical design of concrete mixtures for cement concrete pavements.

Studies by Orazimbetova and co-authors have shown that the andesite-basalt rock of the Berkut-Tau deposit, gabbroid rocks, dune sand and brown ferruginous rocks of Karakalpakstan meet the requirements of the national standard O'z DSt 2950:2015 for raw materials used in Portland cement clinker production [2-4]. The possibility of obtaining clinkers with satisfactory physical and mechanical properties from these raw materials has also been demonstrated [5].

The use of this raw-material base makes it possible to reduce the share of conventional clay and marl in clinker raw mixes; to obtain clinkers with a higher content of aluminosilicate phases and potentially better sulfate resistance [3-5]; and to form a local base for active mineral additives such as finely ground andesite-basalt and tuff breccias, which can be used together with fly ash and slag.

BINDER MODIFICATION: LOW-CLINKER CEMENTS AND MINERAL ADDITIVES

The analysis of studies on low-clinker cements [6] and road concretes with fly ash [7,13] allows the following rational clinker replacement ranges to be identified:

- Fly ash (FA): 20-30% of binder mass for road concretes of classes B30-B40; this reduces water demand and increases structural density provided that sufficient curing time is ensured.
- Ground granulated blast-furnace slag (GGBS): 30-50% of binder mass in CEM III/A-B systems to improve sulfate resistance and frost resistance.
- Silica fume (SF): 5-10% of binder mass in combination with fly ash or slag; at dosages of 3-9%, increases in strength of 15-27% and improved frost resistance have been reported [8-11,14].

For the conditions of Karakalpakstan, combined binders of the following types are considered promising: CEM I + FA + SF; CEM II/A-S(P) + FA + SF; CEM III/A + SF; and CEM I + finely ground andesite-basalt or tuff breccia + SF.

USE OF LOCAL RAW MATERIALS IN COMPLEX MODIFICATION

Taking into account the high potential of andesite-basalt and gabbroids [2-5], their use is possible in two main directions. At the clinker level, part of the conventional clay component can be replaced by andesite-basalt and gabbroid rocks during the calculation of clinker raw mixes [3,4]. This makes it possible to obtain clinkers with an improved composition and with physical and mechanical properties that meet requirements [5].

At the level of mineral additives and aggregates, finely ground andesite-basalt or tuff breccia can be used as an active mineral additive at 5-15% of binder mass. Dune sands can be used as a part of the fine aggregate after granulometric correction, while their optimal combination with fly ash and slag may increase the density of cement stone [12,14].

CHEMICAL ADMIXTURES AND FIBER REINFORCEMENT

For road concretes with complex mineral modification, the following measures are recommended:

- use of air-entraining admixtures at about 0.10-0.15% of cement mass to form a stable system of closed pores and improve frost resistance [6,11];
- use of polycarboxylate-based superplasticizers to reduce the water-to-binder ratio while maintaining workability;
- local fiber reinforcement with polypropylene, steel or basalt fibers to improve crack resistance and impact toughness, especially when hard crushed aggregates are used [8,14].

Table 2.

Variants of complex modification of cement concrete pavements (recommendations).

Variant	Pavement purpose	Binder type and additives	Specific features
A	National highways	CEM I + 20-25% FA + 5-8% SF; air entrainment 0.12-0.15%	High frost resistance. Fiber reinforcement is recommended to improve crack resistance.
B	International routes	CEM II/A-S(P) or CEM III/A + 20-30% FA + 5-10% SF	Higher resistance to salts and freeze-thaw cycles; slower strength gain.
C	Local roads	CEM I + 15-20% finely ground andesite-basalt + 10-15% FA	Use of local raw materials, moderate clinker saving and sufficient durability under W/C control.
D	Industrial sites and ports	CEM III/A-B + 20-30% FA + 5-8% SF + steel or basalt fibers	Improved corrosion resistance and crack resistance; suitable for aggressive environments.

EFFECT OF SILICA FUME ON STRENGTH AND FROST RESISTANCE

According to the studies by Zhang and Li [10], Golewski [8,9] and Şahin et al. [11], increasing the silica fume content in the range of 3-9% of binder mass results in the following effects:

- 28-day compressive strength of concrete increases by up to 15-27% compared with the control composition without silica fume;
- the relative dynamic modulus of elasticity after 300 freeze-thaw cycles increases, indicating improved frost resistance;
- at dosages above 10-12%, the positive effect on strength and durability decreases or stabilizes, while shrinkage and the risk of shrinkage cracking increase.

Table 3.

Generalized influence of silica fume on concrete properties (based on [8]-[11]).

SF share of binder, %	Relative 28-day compressive strength (approx.)	Frost-resistance characteristic
0	1.00	Basic level F200-F300
3	1.10-1.15	Improvement; growth of dynamic modulus after FT cycles
6	1.20-1.25	Considerable increase in frost resistance
9	1.25-1.27	Maximum effect on strength and frost resistance
12	1.05-1.10	Possible reduction of effect; increased shrinkage

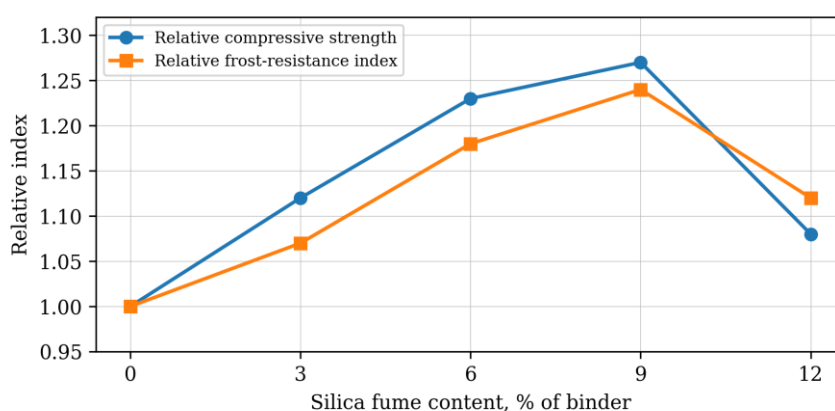


Figure 1. Influence of silica fume content on concrete properties.

EFFECT OF FLY ASH AND SLAG ON DURABILITY OF ROAD CONCRETES

The work of Zhai et al. [7] shows that at a fly ash content of 25-30% in C40 road concrete, an optimal combination of strength (about 50 MPa at 28 days) and increased structural density is achieved; the proportion of pores smaller than 20 nm reaches 80%. The FHWA review [13] confirms that the use of 20% fly ash can reduce water demand by approximately 10%, improving workability and reducing the risk of drying shrinkage cracking.

In the study by Barragán-Ramírez et al. [12], the combination of 20-30% fly ash with blast-furnace slag and rice husk ash in a marine environment significantly reduced the chloride diffusion coefficient and the corrosion rate of reinforcement while maintaining the required strength.

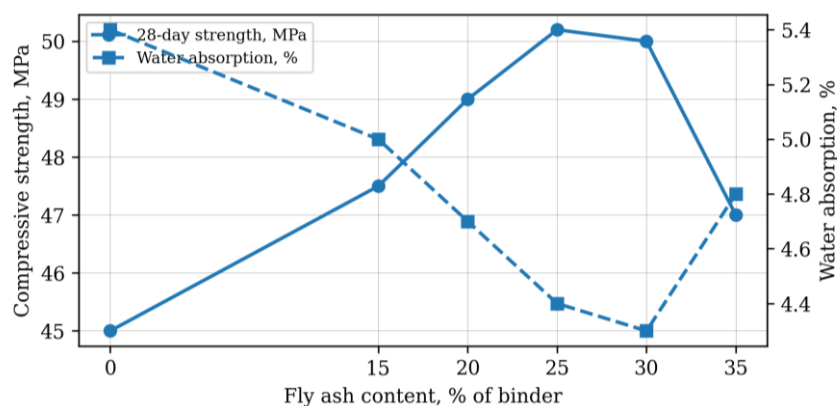


Figure 2. Influence of fly ash content on strength and water absorption of concrete.

DISCUSSION AND PRACTICAL RECOMMENDATIONS

1. Binder level. For the conditions of Karakalpakstan, CEM II/CEM III binders based on clinker produced from local raw materials such as andesite-basalt and gabbroid rocks are promising when combined with 20-30% fly ash and 5-9% silica fume. This approach reduces clinker content and increases frost resistance and crack resistance, provided that the curing regime and air entrainment are optimized [2-4], [6-8], [10,11].
2. Concrete mixture level. For highway pavements, the recommended water-to-binder ratio is 0.35-0.40 with mandatory use of a superplasticizer. Air content should be maintained at 4-6% to improve frost resistance under freeze-thaw cycles [6]. Crushed aggregates from local rocks such as andesite-basalt and gabbroid should be used with strict control of particle shape and surface roughness.
3. Crack resistance and fatigue strength. Research on the fracture toughness of concretes with silica fume and fly ash [8,9] indicates an increase in crack-resistance coefficients at optimal additive contents and a reduction in brittleness. Fiber reinforcement additionally increases fracture energy [8,14]. For road pavements in Karakalpakstan, fiber reinforcement of the upper layer is advisable to improve resistance to repeated traffic loads.
4. Technological aspects. When fly ash and slag are used, concrete must be kept under moist curing conditions for an extended period of at least 7-10 days, which is particularly important for low-clinker systems [6,7]. Under the climatic conditions of Karakalpakstan, intensive evaporation must also be considered; membrane curing compounds and/or polymer admixtures that reduce shrinkage are recommended.

CONCLUSION

1. The analysis of current studies shows that complex modification of cement concrete pavements through the joint use of local mineral raw materials of Karakalpakstan (andesite-basalt, gabbroid, dune sands and tuffites) and active mineral additives (fly ash, blast-furnace slag and silica fume) makes it possible to reduce the clinker content of the binder and simultaneously improve pavement durability.
2. The generalized literature data indicate that the optimal clinker replacement ranges are 20-30% fly ash, 30-50% blast-furnace slag and 5-9% silica fume. At these dosages, strength increases of up to 15-27%, higher frost resistance and lower concrete permeability are achieved [7-11,13,14]. The use of local andesite-basalt and gabbroid rocks in clinker raw mixes and as finely ground active additives complies with the requirements of national standards and makes it possible to form clinkers with the required physical and mechanical characteristics [2-5].
3. The proposed tables and recommendation charts can serve as a methodological basis for designing road-concrete mixtures without conducting independent experimental studies. At the next stage of dissertation research, these recommendations should be verified by field and laboratory tests considering the specific raw-material deposits of Karakalpakstan.

References

- [1]. Miralimov M., Abirov R.A. Cement concrete pavements technology at construction of main roads in Uzbekistan conditions. E3S Web of Conferences, 2023, Vol. 458, 07018. DOI: 10.1051/e3sconf/202345807018.
- [2]. Orazimbetova G.J., Ubbiniyazova L.K. Chemical and mineralogical properties of andesibazalt rock of Karakalpakstan as raw material of Portland cement clinker. Universum: Technical Sciences, 2024, 2(119). DOI: 10.32743/UniTech.2024.119.2.16733.
- [3]. Orazimbetova G., Turdialiev U., Biniyazova L. Composition of raw mixes for Portland cement clinkers using andesic basalt rock. E3S Web of Conferences, 2023, 452, 06001. DOI: 10.1051/e3sconf/202345206001.
- [4]. Orazimbetova G., Uspanov A., Turdialiev U. Gabbroid rock of Karakalpakstan - valuable raw materials for the production of Portland cement. E3S Web of Conferences, 2024, 491, 04001. DOI: 10.1051/e3sconf/202449104001.
- [5]. Orazimbetova G. et al. Physical and mechanical properties of Portland cement clinkers from raw materials of Karakalpakstan. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020.
- [6]. Góra J., Grzegorzczak-Frańczak M. Frost resistance of concretes with low-clinker cements depending on curing time. Advances in Science and Technology Research Journal, 2024, 18(6), 406-421. DOI: 10.12913/22998624/191891.
- [7]. Zhai H. et al. Experimental research on durability of fly ash pavement concrete and mix proportion optimization. Advances in Materials Science and Engineering, 2021, Article ID 8864706. DOI: 10.1155/2021/8864706.

- [8]. Golewski G.L., Gil D.M. Studies of fracture toughness in concretes containing fly ash and silica fume in the first 28 days of curing. *Materials*, 2021, 14(2), 319. DOI: 10.3390/ma14020319.
- [9]. Golewski G.L. Mechanical properties and brittleness of concrete made by combined fly ash, silica fume and nanosilica with ordinary Portland cement. *AIMS Materials Science*, 2023, 10(3), 390-404. DOI: 10.3934/materci.2023021.
- [10]. Zhang P., Li Q.F. Effect of silica fume on durability of concrete composites containing fly ash. *Science and Engineering of Composite Materials*, 2013, 20(1), 57-65. DOI: 10.1515/secm-2012-0081.
- [11]. Şahin H.G. et al. Effect of silica fume utilization on structural build-up, compressive strength, and rheological behavior of cementitious systems. *Polymers*, 2024, 16(4), 556. DOI: 10.3390/polym16040556.
- [12]. Barragán-Ramírez R. et al. Enhancing concrete durability and strength with fly ash, steel slag, and rice husk ash for marine environments. *Materials*, 2024, 17(12), 3001. DOI: 10.3390/ma17123001.
- [13]. Federal Highway Administration (FHWA). Fly Ash in Portland Cement Concrete, Chapter 3, Washington, DC, USA. Accessed 02.12.2025.
- [14]. Raghav M. et al. Review of the effects of supplementary cementitious materials on concrete. *Materials*, 2021, 14(22), 6863. DOI: 10.3390/ma14226863.

ПУЦЦОЛАНОВАЯ АКТИВНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ БЕЛЬТАУСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ИЗВЕСТКОВО-ЦЕОЛИТНЫХ ВЯЖУЩИХ

Ж.К. Жиёмуратов^{1*}, К.Т. Маркабаева²

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

E-mail: jiemuratov007@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5563-2863>

²Каракалпакский государственный университет, Нукус, Узбекистан

*Автор для корреспонденции, e-mail: jiemuratov007@gmail.com

E-mail: qmarkabaeva@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1710-8228>

Аннотация. В статье рассмотрены состав, строение и пуццолановая активность природной цеолитовой породы Бельтауского месторождения как компонента известково-цеолитного вяжущего. Обобщены данные химического и минералогического анализа, стандартных испытаний гидравлической активности и определения способности цеолита связывать CaO и CaSO₄ из насыщенных растворов. Показано, что исследуемая порода относится к активным пуццоланам: с ростом степени цеолитизации увеличивается количество связанной извести и сульфата кальция, а в продуктах взаимодействия формируются гидросиликаты, гидроалюминаты и гидросульфоалюминаты кальция. Полученные зависимости могут использоваться при назначении состава известково-цеолитных вяжущих и выборе режима твердения стеновых материалов.

Ключевые слова: природный цеолит; Бельтауское месторождение; клиноптилолит; пуццолановая активность; известково-цеолитное вяжущее; гидросиликаты кальция.

Abstract. The paper analyzes the composition, structure and pozzolanic activity of natural zeolitic rock from the Beltau deposit as a component of lime-zeolite binders. The study summarizes chemical and mineralogical data, standard hydraulic activity tests and the ability of the zeolite to bind CaO and CaSO₄ from saturated solutions. It is shown that increasing zeolitization intensifies lime and sulfate binding, while calcium hydrosilicate, hydroaluminate and hydrosulfoaluminate phases form in the reaction products. The results are useful for designing lime-zeolite binders for wall materials.

Keywords: natural zeolite; Beltau deposit; clinoptilolite; pozzolanic activity; lime-zeolite binder; calcium hydrosilicates.

Annotatsiya. Maqolada Beltau konining tabiiy seolit jinsining ohak-seolit bog'lovchisi sifatidagi tarkibi, tuzilishi va putssolan faolligi ko'rib chiqilgan. Kimyoviy va mineralogik tahlillar, standart gidravlik faollik sinovlari va seolitning to'yingan eritmalardan CaO va CaSO₄ ni biriktirish qobiliyatini aniqlash ma'lumotlari umumlashtirilgan. Tadqiq qilinayotgan jins faol putssolanlar qatoriga kirishi ko'rsatilgan: seolitlanish darajasi ortishi bilan bog'langan ohak va kalsiy sulfat miqdori ortadi, o'zaro ta'sir mahsulotlarida esa kalsiy gidrosilikatlari, gidroalyuminatlari va gidrosulfoalyuminatlari hosil bo'ladi. Olingan bog'liqliklar ohak-seolitli bog'lovchilar tarkibini belgilashda va devorbop materiallarning qotish rejimini tanlashda qo'llanilishi mumkin.

Tayanch so'zlar: tabiiy seolit; Beltau koni; klinoptilolit; putssolan faolligi; ohak-seolit bog'lovchisi; kalsiy gidrosilikatlari.

ВВЕДЕНИЕ

Расширение сырьевой базы строительных материалов требует использования местных минеральных ресурсов, способных снижать расход энергоёмких компонентов и одновременно обеспечивать требуемые эксплуатационные свойства изделий. Природные цеолиты в этом отношении представляют значительный интерес, поскольку обладают алюмосиликатным каркасом, повышенной реакционной способностью и развитой внутренней пористостью.

Бельтауское месторождение относится к перспективным источникам цеолитового сырья для строительной индустрии. В составе породы преобладают минералы цеолитовой группы, в том числе клиноптилолит, а также присутствуют плагиоклаз, смектитовые минералы и кварц. Такая комбинация определяет её поведение как активной минеральной добавки и как кислого компонента известково-пуццолановой системы.

Цель статьи - систематизировать экспериментальные данные о составе и пуццолановой активности природного цеолита Бельтауского месторождения, а также показать связь между степенью цеолитизации и способностью породы связывать известь и сульфат кальция.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основного материала использовалась цеолитовая порода Бельтауского месторождения. По химическому составу она характеризуется высоким содержанием SiO_2 и Al_2O_3 , что является предпосылкой для развития пуццолановой реакции в присутствии извести. Для получения известково-цеолитного вяжущего породу совместно измельчали с известью до остатка на сите №008 не более 15 %.

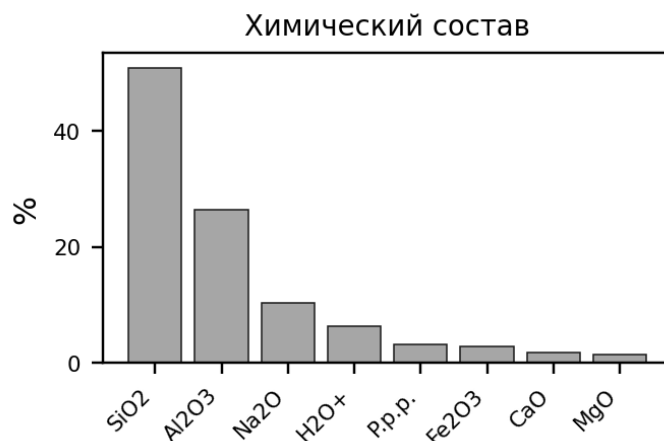


Рис. 1. Оксидный состав цеолитовой породы Бельтауского месторождения.

Пуццолановая активность определялась по стандартным показателям: срокам твердения, водостойкости, прочности образцов после тепловлажностной обработки, а также по количеству CaO и CaSO_4 , поглощённых из насыщенных известковых и известково-гипсовых растворов. Дополнительно применялись рентгенофазовый, дифференциально-термический и электронно-микроскопический методы анализа.

СОСТАВ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Рентгенофазовый анализ показал, что в минералогическом составе исследуемой породы последовательность основных фаз может быть представлена как клиноптилолит >> плагиоклаз > смектиты > альфа-кварц. Механическая активация не приводила к заметной аморфизации кристаллов, однако изменяла дисперсное состояние частиц и способствовала их агрегации при длительном измельчении.

Особенность цеолитовой структуры состоит в наличии системы каналов и обменных катионов. Поэтому реакция с известью протекает не только на поверхности частиц, но и с вовлечением значительной части алюмосиликатного каркаса. Это объясняет высокую способность Бельтауского цеолита связывать как CaO , так и CaSO_4 .

Таблица 1

Химический состав цеолитовой породы, %

Оксид	Содержание	Оксид	Содержание
SiO_2	50,8	CaO	1,8
Al_2O_3	26,4	MgO	1,5
Fe_2O_3	2,8	Na_2O	10,3
H_2O^+	6,4	п.п.п.	3,2

ПУЦЦОЛАНОВАЯ АКТИВНОСТЬ

По результатам испытаний Бельтауская цеолитовая порода соответствует требованиям к активным минеральным добавкам. Известково-цеолитные составы после тепловлажностной обработки показывали водостойкость и прочность, достаточные для рассмотрения породы как компонента гидравлического вяжущего.

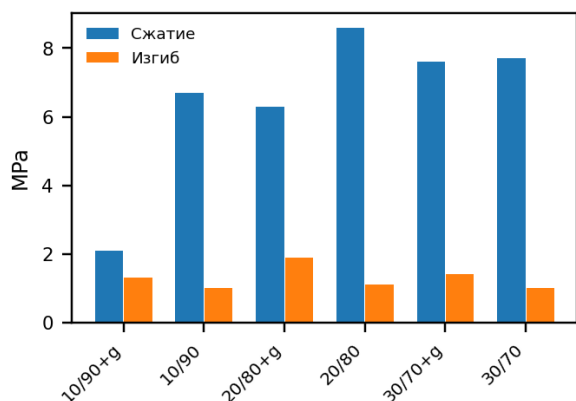


Рис. 2. Прочность известково-цеолитных составов после тепловлажностной обработки.

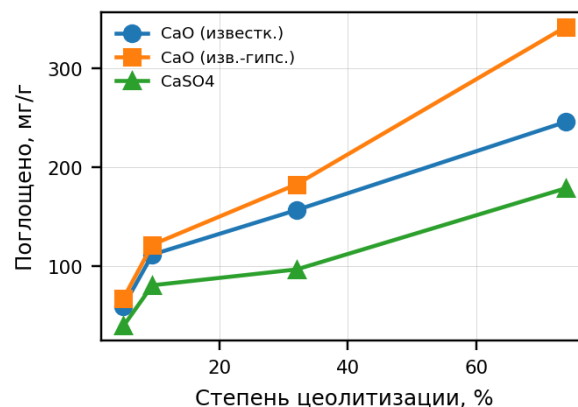


Рис. 3. Связывание CaO и CaSO4 в зависимости от степени цеолитизации.

Наибольший практический интерес представляет зависимость активности от степени цеолитизации. С увеличением содержания цеолитовой фазы возрастает количество связанной извести и сульфата кальция. Для Бельтауского сырья получены регрессионные зависимости:

$$\text{CaO} = 2,449Ц + 70,5; \quad \text{CaSO}_4 = 1,605Ц + 47,28$$

где Ц - степень цеолитизации, %. Коэффициенты корреляции для полученных зависимостей находились в диапазоне $r = 0,957-0,989$, что подтверждает устойчивую связь между составом породы и её пуццолановой активностью.

ПРОДУКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ИЗВЕСТЬЮ

В нормальных условиях и при тепловлажностной обработке основными продуктами реакции в системе «цеолит - известь» являются гидросиликаты кальция типа C-S-H и гидроалюминатные фазы. При введении гипса дополнительно формируются гидросульфалюминаты кальция, что ускоряет структурообразование и повышает раннюю водостойкость.

Дифференциально-термический анализ фиксирует интенсивную потерю массы в низкотемпературной области, связанную с обезвоживанием гидратных фаз. Рентгенофазовые данные показывают снижение интенсивности пиков клиноптилолита после взаимодействия с известью, что свидетельствует о частичном разрушении алюмосиликатного каркаса и переходе компонентов в новообразования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Бельтауская цеолитовая порода является активным пуццолановым материалом и может использоваться как минеральный компонент известково-цеолитных вяжущих.
2. Способность породы связывать CaO и CaSO4 возрастает с увеличением степени цеолитизации, что позволяет прогнозировать активность сырья по его минералогическому составу.
3. В продуктах твердения формируются гидросиликаты, гидроалюминаты и гидросульфалюминаты кальция, обеспечивающие развитие прочности и водостойкости.

4. Полученные зависимости целесообразно учитывать при разработке стеновых материалов на основе местного цеолитового сырья.

Список литературы

- [1]. ГОСТ 25094-82. Добавки активные минеральные. Методы испытаний.
- [2]. ГОСТ 9179-77. Известь строительная. Технические условия.
- [3]. ГОСТ 8736-85. Песок для строительных работ. Технические условия.
- [4]. Breck D.W. Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use. New York: Wiley, 1974.
- [5]. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. 2nd ed. London: Thomas Telford, 1997.
- [6]. Методы физико-химического анализа строительных материалов: рентгенофазовый, дифференциально-термический и электронно-микроскопический анализ.
- [7]. Силикатные материалы автоклавного твердения: физико-химические основы формирования структуры.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ИЗВЕСТКОВО-ПЕСЧАНОЙ ШТУКАТУРНОЙ СМЕСИ ИЗ БАРХАННОГО ПЕСКА КАРАКАЛПАКСТАНА

Асаматдинов М.О., Турсымуратов Б.Р.

Каракалпакский государственный университет

*Автор для корреспонденции, e-mail: maratasamatdinov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8829-1994>

E-mail: baxramtursimuratov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3802-3091>

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация. В статье рассмотрена возможность использования местного барханного песка Республики Каракалпакстан для получения известково-песчаных штукатурных смесей. Исследованы физико-механические характеристики исходных материалов, разработаны экспериментальные составы штукатурных растворов и определены их основные технологические и эксплуатационные показатели. Установлено влияние соотношения извести и песка на подвижность растворной смеси, водоудерживающую способность, прочность при сжатии и адгезию к основанию. Показано, что применение местного барханного песка после корректировки гранулометрического состава позволяет получать штукатурные растворы, соответствующие требованиям строительной практики.

Ключевые слова: известковая штукатурка, барханный песок, Каракалпакстан, строительный раствор, известковое вяжущее, прочность, адгезия, сухие строительные смеси.

Abstract. The possibility of using local dune sand of the Republic of Karakalpakstan for the production of lime-sand plaster mixtures has been studied. Physical and mechanical properties of raw materials were investigated. Experimental compositions were developed and their technological and strength characteristics were determined. The influence of the lime-to-sand ratio on workability, water retention, compressive strength and adhesion was established. The results indicate the feasibility of using local dune sands in plaster mixtures after granulometric correction.

Keywords: lime plaster, dune sand, Karakalpakstan, mortar, lime binder, adhesion, strength.

Annotatsiya. Maqolada Qoraqalpog'iston Respublikasining mahalliy barxan qumlaridan ohakli-qumli suvoq qorishmalarini tayyorlash imkoniyati o'rganilgan. Xom ashyo materiallarining fizik-mexanik xossalari tadqiq etilib, tajriba tarkiblari ishlab chiqilgan hamda ularning texnologik va mustahkamlik ko'rsatkichlari aniqlangan.

Kalit so'zlar: ohak, barxan qumi, suvoq qorishmasi, mustahkamlik, adgeziya, qurilish materiallari.

Введение

В настоящее время одним из приоритетных направлений развития строительной индустрии Республики Узбекистан является расширение использования местного минерального сырья. Для Республики Каракалпакстан характерны значительные запасы барханных песков, которые практически не используются при производстве строительных растворов из-за их мелкозернистой структуры и низкого модуля крупности.

Вместе с тем дефицит качественных речных песков и увеличение стоимости транспортировки строительных материалов требуют поиска новых решений по вовлечению местных ресурсов в производство сухих строительных смесей. Известковые штукатурные растворы широко применяются при отделочных работах благодаря высокой пластичности, паропроницаемости и экологической безопасности. Однако свойства таких растворов существенно зависят от гранулометрического состава заполнителя.

Целью настоящего исследования является разработка рациональных составов известково-песчаной штукатурной смеси с использованием барханного песка Каракалпакстана.

Обзор литературы

Вопросам получения штукатурных растворов посвящены работы А.В. Волженского, Ю.М. Баженова, В.Г. Батракова, А.Г. Комара и других исследователей.

По данным Волженского А.В., известковые растворы отличаются высокой удобоукладываемостью и хорошей адгезией к основаниям. Вместе с тем низкая водостойкость и сравнительно невысокая прочность ограничивают область их применения.

Баженов Ю.М. отмечает, что свойства штукатурных смесей во многом определяются гранулометрическим составом заполнителя. Наиболее эффективными являются пески с модулем крупности 2,0–2,5.

Исследования последних лет показывают возможность применения мелкодисперсных песков после их обогащения или корректировки состава раствора. В работах ученых Узбекистана показана перспективность использования местного минерального сырья для производства сухих строительных смесей различного назначения.

Однако вопросы применения барханных песков Каракалпакстана в известковых штукатурных растворах изучены недостаточно, что определяет научную новизну настоящей работы.

Материалы и методы исследования

В качестве вяжущего использовалась строительная воздушная известь Кызылкумского цементного завода.

Таблица 1

Свойства извести

Показатель	Значение
Активность, %	84
Содержание MgO, %	4,5
Скорость гашения, мин	8
Истинная плотность, кг/м ³	2700
Удельная поверхность, см ² /г	4800

В качестве заполнителя использовался барханный песок Республики Каракалпакстан.

Таблица 2

Свойства барханного песка

Показатель	Значение
Модуль крупности	0,9
Насыпная плотность, кг/м ³	1420
Истинная плотность, кг/м ³	2620
Содержание пылевидных частиц, %	2,8
Влажность, %	1,2

Испытания проводились согласно требованиям ГОСТ 5802-86 и ГОСТ 28013-98. Были приготовлены четыре экспериментальных состава растворов.

Таблица 3

Составы исследуемых растворов

№ состава	Известь, масс. ч.	Песок, масс. ч.	В/И
1	1	2	0,65
2	1	3	0,68
3	1	4	0,72
4	1	5	0,76

Определялись следующие показатели:

- подвижность растворной смеси;
- водоудерживающая способность;
- прочность при сжатии;
- прочность сцепления с основанием.

Результаты исследований

Таблица 4

Технологические свойства растворов

Состав	Подвижность, см	Водоудержание, %
1	11,8	96
2	10,7	95
3	9,8	94
4	8,9	92

Полученные результаты показывают снижение подвижности при увеличении количества заполнителя.

Таблица 5

Прочностные характеристики

Состав	Прочность, МПа	
	при сжатии	Адгезионная
1	2,8	0,38
2	2,5	0,35
3	2,1	0,31
4	1,8	0,28

Наиболее высокие показатели прочности были достигнуты у состава №1.

Обсуждение результатов

Полученные данные показывают, что использование барханного песка Каракалпакстана возможно без существенного ухудшения свойств штукатурных растворов.

Снижение прочности при увеличении содержания песка объясняется уменьшением количества известкового камня в структуре раствора. Вместе с тем состав №2 (1:3) обеспечивает оптимальное сочетание прочности, технологичности и экономической эффективности.

Использование местного песка позволяет снизить себестоимость штукатурных смесей на 12–18 % по сравнению с применением привозного речного песка.

Научная новизна работы заключается в установлении возможности применения барханного песка Каракалпакстана для изготовления известковых штукатурных растворов и определении рационального состава смеси.

Выводы

Исследованы физико-механические свойства барханного песка Каракалпакстана.

Разработаны составы известково-песчаных штукатурных растворов на основе местного сырья.

Установлено влияние соотношения извести и песка на свойства растворных смесей.

Максимальная прочность при сжатии составила 2,8 МПа.

Наиболее рациональным является состав **известь : песок = 1 : 3**;

Использование барханного песка способствует снижению себестоимости штукатурных работ и расширению сырьевой базы строительной индустрии Республики Каракалпакстан.

Список литературы

- [1]. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986.
- [2]. Баженов Ю.М. Технология сухих строительных смесей. – М.: Издательство АСВ, 2018.
- [3]. Батраков В.Г. Модифицированные строительные растворы. – М.: Стройиздат, 1990.
- [4]. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия. – М.: Высшая школа, 2007.
- [5]. ГОСТ 5802–86. Растворы строительные. Методы испытаний.
- [6]. ГОСТ 28013–98. Растворы строительные. Общие технические условия.
- [7]. ГОСТ 9179–2018. Известь строительная. Технические условия.
- [8]. Шмитько Е.И. Строительные материалы. – М.: Академия, 2019.
- [9]. Рахимов Р.З. Строительные материалы Узбекистана. – Ташкент, 2021.
- [10]. Архитектура и строительство Узбекистана. – 2023. – №4.
- [11]. Строительные материалы. – 2024. – №7.
- [12]. Вестник строительной науки. – 2024. – №2.
- [13]. International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2023. – Vol.14.
- [14]. Construction Materials. – 2024. – Vol.177.
- [15]. Journal of Building Engineering. – 2024. – Vol.85.

UDK 624.131.5:628.1

KUCHSIZ GRUNTLARDA QUVUR O‘TKAZGICHLAR ZAMINLARI VA POYDEVORLARINI QURISHNING O‘ZIGA XOS JIHATLARI (QORAQALPOG‘ISTON HUDUDI SHAROITIDA)

A.M. Ongarbaev*

Toshkent shahridagi Belarus-O‘zbekiston qo‘shma tarmoqlararo amaliy texnik kvalifikatsiyalar instituti

*Mas’ul muallif, e-mail: oajiniyaz@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4064-3521>

SPIN-код: 6884-1461

[\(Qabul qilindi 03.09.2026 y.\)](#)

Annotatsiya. Maqolada kuchsiz, suvga to‘yingan gilli va to‘kma gruntlarda quvur o‘tkazgichlar zaminlari hamda poydevorlarini qurishning muhandislik-geologik xususiyatlari tahlil qilingan. Gruntlarning deformatsiyalanishi, filtratsiyasi, konsolidatsiyasi, o‘z-o‘zidan zichlanishi va ularning quvur o‘tkazgichlar ishonchligiga ta’siri yoritilgan. Tadqiqot mazmuni Qoraqalpog‘iston hududidagi alluvial yotqiziqlar, sho‘rlanish, yer osti suvlari va texnogen to‘kma qatlamlar sharoitiga moslashtirilgan.

Tayanch so‘zlar: kuchsiz grunt, suvga to‘yingan gilli grunt, to‘kma tuproq, quvur o‘tkazgich, zamin, deformatsiya, konsolidatsiya, filtratsiya, Qoraqalpog‘iston.

Аннотация. В статье рассмотрены особенности устройства оснований и фундаментов трубопроводов в слабых, водонасыщенных глинистых и насыпных грунтах. На основе анализа инженерно-геологических факторов раскрыты причины неравномерных деформаций, нарушения герметичности стыков и аварийных ситуаций в трубопроводных сетях. Отдельное внимание уделено условиям Каракалпакстана, где высокий уровень грунтовых вод, засоленность, аллювиальные отложения и техногенные насыпные слои требуют более детального учета деформационных, фильтрационных и эксплуатационных характеристик грунтов.

Ключевые слова: слабые грунты, водонасыщенные глинистые грунты, насыпной грунт, трубопровод, основание, деформация, консолидация, фильтрация, Каракалпакстан.

Abstract. The article discusses the construction features of pipeline bases and foundations in weak, water-saturated clayey and artificial fill soils. The causes of uneven deformation, joint leakage and emergency failures in pipeline systems are analyzed from the standpoint of engineering geology. Special attention is paid to the conditions of Karakalpakstan, where groundwater, salinity, alluvial deposits and technogenic fill layers must be considered in design and operation.

Keywords: weak soil, water-saturated clayey soil, artificial fill soil, pipeline, base, deformation, consolidation, filtration, Karakalpakstan.

1. Kirish. Bo'sh, suvga to'yingan gilli va to'kma gruntlar tarqalgan hududlarda quvur o'tkazgichlarni barpo etish muhandislik amaliyotida murakkab vazifalardan biri hisoblanadi. Bunday gruntlarda quvur o'tkazgichlar zaminining ortiqcha yoki notekis cho'kish, quvur bo'g'inlarida qo'shimcha kuchlanishlarning paydo bo'lishi, choklarning germetikligi buzilishi hamda ayrim hollarda avariya holatlar yuzaga kelishi mumkin. Shuning uchun quvur o'tkazgichlarning ishonchli ishlashi faqat quvur materialining mustahkamligiga emas, balki u joylashtiriladigan zaminning haqiqiy muhandislik-geologik holatini to'g'ri baholashga ham bog'liqdir.

Kuchsiz gruntlarda quvur o'tkazgichlar bilan bog'liq nosozliklarning muhim sabablari muhandislik-geologik qidiruvlarning yetarli darajada bajarilmasligi, gruntlarning fizik-mexanik xususiyatlarini asossiz qabul qilish, loyiha yechimlarini mahalliy sharoitga moslashtirmaslik va qurilish texnologiyasiga to'liq rioya qilmaslik bilan izohlanadi. Amaliy tajriba shuni ko'rsatadiki, zamin xususiyatlari noto'g'ri baholansa, quvur trassasi bo'ylab cho'kishlar bir tekis kechmaydi va bu quvur tizimining ekspluatatsion barqarorligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Qoraqalpog'iston Respublikasi hududi bu masalada alohida e'tiborni talab qiladi. Amudaryo deltasi, pastqam tekisliklar, sho'rlangan yerlar, yer osti suvlari sathining ayrim joylarda yuqori bo'lishi, alluvial yotqiziqlar hamda texnogen to'kma qatlamlar quvur o'tkazgichlar zaminini loyihalashda murakkablik tug'diradi. Shahar va qishloq hududlarida suv ta'minoti, kanalizatsiya, drenaj va boshqa muhandislik kommunikatsiyalarini qurishda aynan shu omillarni hisobga olish quvur tarmoqlarining uzoq muddatli ishlashini ta'minlaydi.

Mazkur maqolaning maqsadi kuchsiz, suvga to'yingan va to'kma gruntlarda quvur o'tkazgichlar zaminlari hamda poydevorlarini qurish xususiyatlarini tahlil qilish, deformatsiya va filtratsiya jarayonlarining amaliy ahamiyatini ochib berish hamda Qoraqalpog'iston sharoitida muhandislik yondashuvlarini asoslashdan iborat.

2. Tadqiqot obyekti va uslubiy yondashuv. Tadqiqot obyekti sifatida kuchsiz, suvga to'yingan gilli va to'kma gruntlarda joylashadigan yer osti quvur o'tkazgichlarining zaminlari hamda poydevor sharoitlari qabul qilindi. Bunday quvur o'tkazgichlarga ichimlik suvi, oqova suv, drenaj, issiqlik va boshqa muhandislik kommunikatsiyalari kiradi. Ularning umumiy xususiyati shundaki, ular ko'pincha uzun trassa bo'ylab turli tarkib va zichlikka ega grunt qatlamlarini kesib o'tadi.

Uslubiy yondashuvda ilmiy manbalar, kuchsiz gruntlarda quvur o'tkazgichlarni qurish bo'yicha amaliy tajriba, gruntlarning deformatsiyalanish va filtratsion xususiyatlari haqidagi ma'lumotlar hamda mahalliy sharoitga mos muhandislik tahlili asos qilib olindi. Grunt xossalarini baholashda laboratoriya sinovlari bilan bir qatorda dala sinovlari, ayniqsa katta yuzali shtamplar yordamida deformatsiyalanishni aniqlash natijalari muhim ahamiyatga ega ekanligi inobatga olindi.

Kuchsiz suvga to'yingan gilli gruntlar uchun umumiy deformatsiya moduli doimiy qiymat sifatida emas, balki kuchlanish holati, yuklanish tartibi va namlik darajasiga bog'liq o'zgaruvchan ko'rsatkich sifatida qaraladi. Ayrim holatlarda bosim 0 dan 0,5 MPa gacha o'zgarganda deformatsiya modulining qiymati bir necha baravar farqlanishi mumkin. Shu sababli quvur o'tkazgich trassasi loyihalashda zaminning faqat umumiy tavsifi emas, balki yuklama ostidagi real ishlash holati ham baholanishi lozim.

Qoraqalpog'iston hududi sharoitiga moslashtirishda yer osti suvlari rejimi, tuproq sho'rlanishi, mavsumiy namlanish va qurish jarayonlari, yuqori yozgi harorat, bug'lanish darajasi hamda ayrim joylardagi texnogen to'kma qatlamlar hisobga olindi. Bunday yondashuv quvur

o'tkazgich zaminining cho'kish, siljish, filtratsion zichlanish va korrozion xavflarini oldindan baholash imkonini beradi.

3. Tahlil natijalari va muhokama. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, kuchsiz suvga to'yingan gilli gruntlarda quvur o'tkazgichlar uchun asosiy xavf notekis deformatsiyalanish bilan bog'liq. Yuklama ta'sirida bunday gruntlarda g'ovak suv bosimi, filtratsion zichlanish va konsolidatsiya jarayonlari yuzaga keladi. Agar bu jarayonlar loyihalashda yetarli inobatga olinmasa, quvur ostidagi zamin ayrim uchastkalarda ko'proq, ayrim uchastkalarda esa kamroq cho'kadi. Natijada quvur bo'g'inlarida qo'shimcha egilish momentlari va cho'zilish-siqilish kuchlanishlari paydo bo'ladi.

Suvga to'yingan gilli gruntlarda filtratsion jarayonlar ham muhim rol o'ynaydi. Bunday gruntlarda suvning harakati har doim ham oddiy Darsi qonuniga to'liq bo'ysunavermaydi, chunki filtratsiya boshlanishi uchun ma'lum bosim gradienti talab qilinadi. Agar bosim gradienti boshlang'ich qiymatdan past bo'lsa, grunt namunasidan suvning chiqishi sekinlashadi yoki deyarli kuzatilmaydi. Shu sababli konsolidatsiya muddatini baholashda gruntning filtratsion koeffitsiyenti bilan bir qatorda uning strukturaviy mustahkamligi ham hisobga olinishi kerak.

Muhandislik amaliyotida suvga to'yingan zaif gruntlar ustida qum yostiqchalari va drenaj qatlamlaridan foydalanish keng qo'llaniladi. Bunday qatlamlar tashqi yuk ta'sirida g'ovak suvining siqib chiqarilishini tezlashtirib, zaminning zichlanish jarayonini jadallashtiradi. Biroq qum yostiqchasida loyqa zarrachalarning to'planishi, ya'ni kolmatatsiya yuz berishi mumkin. Bu holat drenaj qatlamining ishlash samaradorligini kamaytiradi, shuning uchun qum yostiqchasi tarkibi, qalinligi va filtratsion barqarorligi alohida asoslanishi lozim.

To'kma gruntlar quvur o'tkazgichlar uchun yana bir murakkab zamin turi hisoblanadi. Ular tabiiy yotqiziqlardan farqli ravishda texnogen omillar ta'sirida hosil bo'ladi va tarkibida buzilgan tabiiy tuproq, qurilish qoldiqlari, sanoat yoki maishiy chiqindilar, organik qo'shimchalar bo'lishi mumkin. To'kma gruntlarning asosiy xususiyati ularning bir jinsli emasligidir. Bir trassa bo'ylab qatlam qalinligi, namlik, zichlik va siqiluvchanlik darajasi keskin o'zgarishi mumkin.

To'kma gruntlarning o'z-o'zidan zichlanishi ularning yoshi, tarkibi, namligi va yuqoridagi qatlamlar og'irligi bilan bog'liq. Sochiluvchan materiallardan tashkil topgan qatlamlarda zichlanish tezroq kechadi, yuqori dispersli gilli va organik aralashmali qatlamlarda esa bu jarayon uzoq davom etadi. Yuqori namlik zichlanishni jadallashtiradi. Masalan, boshlang'ich namlik $W = 0,08$ bo'lgan holatda 8 m chuqurlikdagi quruq grunt zichligi $1,39 \text{ t/m}^3$ atrofida bo'lsa, $W = 0,30$ bo'lganida bu ko'rsatkich $1,62 \text{ t/m}^3$ gacha yetishi mumkin. Bunday farq quvur zaminining egriligini o'zgartirib, chokli birikmalarga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Qoraqalpog'iston sharoitida quvur o'tkazgichlar ko'pincha murakkab grunt va suv rejimi mavjud maydonlardan o'tadi. Sho'rlangan gruntlar metall quvurlar, armatura, choklar va gidrozolyatsiya materiallari uchun qo'shimcha xavf tug'diradi. Yer osti suvlari sathining mavsumiy o'zgarishi esa zaminning namlanish-qurish rejimini o'zgartirib, deformatsiya jarayonlarini kuchaytirishi mumkin. Shu sababli quvur materialini tanlashda ichki bosimdan tashqari tashqi grunt bosimi, transport yuklari, zaminning notekis cho'kishi va korroziyaga chidamlilik ham hisobga olinishi zarur.

Tavsiya etiladigan muhandislik yondashuvlari qatoriga trassa bo'ylab batafsil muhandislik-geologik qidiruvlar o'tkazish, bo'sh qatlamlarni aniqlash, zarur hollarda zaminni qum-shag'al aralashmasi bilan almashtirish, geotekstil qatlamlaridan foydalanish, drenajni to'g'ri tashkil etish, quvur osti tayanch qatlamini bir tekis zichlash va ekspluatatsiya davrida monitoring olib borish kiradi. Ayniqsa nazorat quduqlari, sizib chiqishlarni aniqlash va cho'kish belgilarini kuzatish tizimi quvur o'tkazgichlarda avariya holatlarning oldini olishga xizmat qiladi.

4. Xulosa. 1. Kuchsiz, suvga to'yingan gilli va to'kma gruntlarda quvur o'tkazgichlarning ishonchliligi zaminning deformatsiyalanish, filtratsiya va konsolidatsiya xususiyatlarini to'g'ri baholashga bevosita bog'liq.

2. Gruntning umumiy deformatsiya moduli doimiy kattalik emas, balki kuchlanish holati, yuklanish tartibi, namlik darajasi va dala sharoitidagi real ishlash jarayoniga bog'liq o'zgaruvchan ko'rsatkich sifatida qaralishi kerak.

3. Qoraqalpog‘iston hududida yer osti suvlari, sho‘rlanish, alluvial yotqiziqlar va texnogen to‘kma qatlamlar quvur o‘tkazgichlar zaminini loyihalashda alohida hisobga olinishi lozim.

4. To‘kma gruntlarning notekis qalinligi va o‘z-o‘zidan zichlanishi quvur bo‘g‘inlarida qo‘shimcha kuchlanishlar hosil qiladi hamda germetiklik buzilishi xavfini oshiradi.

5. Quvur o‘tkazgichlarni loyihalash va qurishda dala hamda laboratoriya sinovlarini uyg‘unlashtirish, drenaj qatlamlari, geotekstil, qum yostiqchalar, zaminni zichlash yoki almashtirish kabi muhandislik tadbirlarini qo‘llash tizimning uzoq muddatli ishlashini ta‘minlaydi.

6. Eksploatatsiya bosqichida quvur trassasi bo‘ylab cho‘kish, sizib chiqish, korroziya va zamin namlanishini muntazam nazorat qilish avariyaaviy holatlarning oldini olishga xizmat qiladi.

Adabiyotlar

- [1]. Abelev M.Yu. Kuchsiz suvga to‘yingan gruntlarda poydevorlar va zaminlarni hisoblash masalalari. Moskva: Stroyizdat, 1983. – 240 b.
- [2]. Abelev M.Yu. Slabye vodonasyshchennye glinistye grunty kak osnovaniya sooruzheniy. Moskva: Stroyizdat, 1973. – 280 s.
- [3]. Terzaghi K., Peck R.B., Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice. New York: Wiley, 1996. – 549 p.
- [4]. Das B.M. Principles of Geotechnical Engineering. Boston: Cengage Learning, 2016. – 819 p.
- [5]. GOST 25100-2020. Grunty. Klassifikatsiya. Moskva: Standartinform, 2020.
- [6]. GOST 12248-2010. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya kharakteristik prochnosti i deformiruемости. Moskva: Standartinform, 2011.
- [7]. GOST 20276-2012. Grunty. Metody polevogo opredeleniya kharakteristik prochnosti i deformiruемости. Moskva: Standartinform, 2013.
- [8]. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83*. Moskva, 2016.
- [9]. SHNQ 2.02.01-19. Bino va inshootlar zaminlari. Toshkent: Qurilish vazirligi, 2019.
- [10]. Rasulov H.Z. Gruntlar mexanikasi, zamin va poydevorlar. Toshkent: O‘qituvchi, 2010. – 352 b.
- [11]. Mirzaev T.M., Karimov B.K. Muhandislik-geologik izlanishlar va zaminlarni baholash. Toshkent: Fan, 2017. – 216 b.
- [12]. Jo‘raev S.S. Yer osti muhandislik kommunikatsiyalarini loyihalash va qurish asoslari. Toshkent: TAQI, 2018. 190 b.

NANOKREMNEZOL BILAN MODIFIKATSIYALANGAN AVTOKLAVSIZ KO‘PIKBETON

A. Ilyasov¹, R. Auezbaev²

¹Qoraqalpog‘ davlat universiteti,

E-mail: allanazar86@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6973-4545>

²Toshkent davlat transport universiteti,

E-mail: ramanawezbaev400@gmail.com

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

(Qabul qilindi 03.09.2026 y.)

Annotatsiya: Maqolada avtoklavsiz usulda ko‘pikbeton ishlab chiqarish uchun mo‘ljallangan modifikatsiyalangan quruq qurilish aralashmalarini yaratish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Unda KZ-TM seriyali kremniy zoli va donador domna shlagi asosidagi nanomodifikatorlarning sement gidratatsiyasi jarayonlariga, sement toshi tuzilmasining shakllanishiga hamda ko‘pikbetonning mustahkamlik xususiyatlariga ta‘siri ko‘rib chiqilgan. Nanokremniyemdan foydalanish sement gidratatsiyasini tezlashtirishi, sement toshining zichligini va materialning mustahkamligini oshirishi aniqlangan. KZ-TM-30 kremniy zoli eng samarali modifikator ekanligi ma‘lum bo‘ldi. Olingan natijalar energiya tejankor qurilish materiallarini ishlab chiqarishda nanomodifikatsiyalangan quruq aralashmalardan foydalanish istiqbolli ekanini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: ko‘pikbeton, quruq qurilish aralashmalari, nanokremniyem, kremnezol, sement toshi, mustahkamlik, gidratatsiya, domna shlagi.

Аннотация: В статье представлены результаты исследований по созданию модифицированных сухих строительных смесей для производства пенобетона безавтоклавным методом. Рассмотрено влияние наномодификаторов на основе кремнезоль серии КЗ-ТМ и гранулированного доменного шлака на процессы гидратации цемента, формирование структуры цементного камня и прочностные характеристики пенобетона. Установлено, что использование нанокремнезёма ускоряет гидратацию цемента, повышает плотность цементного камня и прочность материала. Выявлено, что кремнезоль КЗ-ТМ-30 является наиболее эффективным модификатором. Полученные результаты подтверждают перспективность применения наномодифицированных сухих смесей в производстве энергосберегающих строительных материалов.

Ключевые слова: пенобетон, сухие строительные смеси, нанокремнезём, кремнезоль, цементный камень, прочность, гидратация, доменный шлак.

Abstract: This article presents the results of research into the development of modified dry-mix mortars for producing non-autoclaved foam concrete. The study examines the effect of nanomodifiers based on KZ-TM series colloidal silica and granulated blast furnace slag on the processes of cement hydration, the formation of the cement stone structure, and the strength characteristics of the foam concrete. It was determined that the use of nanosilica accelerates cement hydration, increases the density of the cement stone, and enhances the strength of the material. KZ-TM-30 colloidal silica was identified as the most effective modifier. The results obtained confirm the promising outlook for using nanomodified dry mixes in the production of energy-efficient building materials.

Keywords: foam concrete, dry-mix mortars, nanosilica, colloidal silica, cement stone, strength, hydration, blast furnace slag.

KIRISH

So‘nggi yillarda binolarning energiya samaradorligini oshirish masalasi tobora dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Bu boradagi eng istiqbolli yo‘nalishlardan biri zichligi past va yuqori issiqlik izolyatsiyasi xususiyatlariga ega bo‘lgan yengil g‘ovakli betonlardan foydalanish hisoblanadi. Ular orasida noavtoklav usulida tayyorlanadigan ko‘pikli beton alohida o‘rin egallaydi, u nisbatan sodda ishlab chiqarish texnologiyasi va arzon tannarxi bilan ajralib turadi.

Biroq, ko‘pikbetonlarning keng qo‘llanilishi ularning mustahkamligi va uzoqqa chidamliligi yetarli darajada emasligi bilan cheklanadi. Mazkur muammoni hal qilish maqsadida tadqiqotchilar sement toshining tuzilishini yaxshilash hamda materialning ekspluatatsion xususiyatlarini oshirishga imkon beruvchi turli mineral va nanomodifikatsiyalovchi qo‘shimchalardan faol foydalanmoqdalar.

Ushbu tadqiqotning maqsadi avtoklavsiz ko‘pikbeton olish uchun mo‘ljallangan quruq qurilish aralashmalarining xossalariга kremnezol nanomodifikatorlari va faol mineral qo‘shimchalarning ta‘sirini o‘rganishdan iborat.

Tadqiqot materiallari va metodlari

Quruq aralashmalarining asosiy tarkibiy qismlari sifatida PC500-D0-N va SEM I 42,5B markali portlandsementlardan foydalanilgan. Tuzilma hosil bo‘lish jarayonlarining samaradorligini oshirish uchun esa KZ-TM-15, KZ-TM-20 va KZ-TM-30 markali kremnezollar qo‘llanilgan.

Qorishmalar tarkibiga qo‘shimcha tarzda gidravlik faollikka ega bo‘lgan va sement sarfini kamaytirishga yordam beradigan donador domna shlagi qo‘shildi.

Tadqiqotlar zamonaviy tahlil usullari yordamida o‘tkazildi:

- sementning fizik-mexanik xususiyatlarini aniqlash;
- zarrachalarning granulometrik tahlilini o‘tkazish;
- gidratatsiya mahsulotlarining rentgen-faza tahlilini o‘tkazish;
- siqilishga mustahkamligini sinash;
- sement toshining tuzilishini baholash.

Namunalar normal sharoitlarda, 20 ± 2 °C haroratda va havoning nisbiy namligi 95 % dan kam bo‘lmagan holda qotirildi.

Tadqiqot natijalari

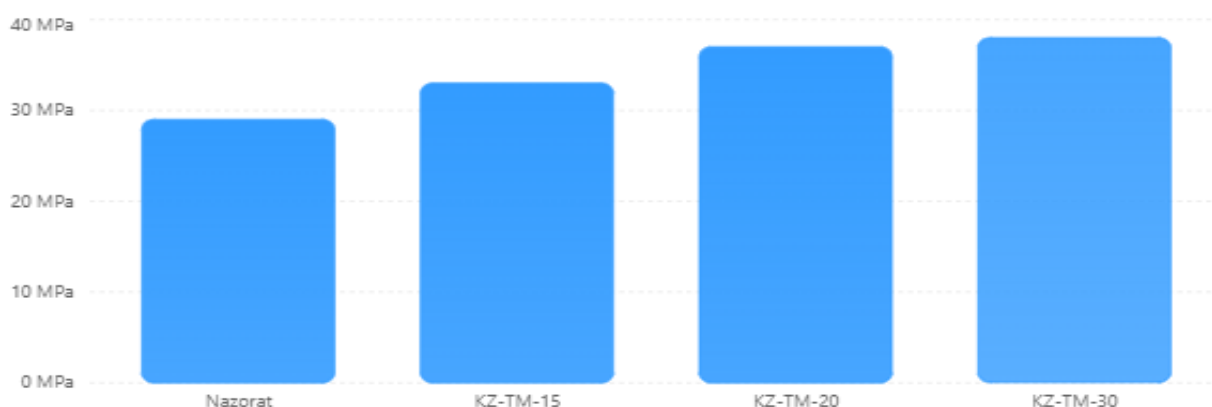
Kremnezollarning sement toshi mustahkamligiga ta‘siri

Tajriba natijalari nanomodifikatorlarni qo‘shish sement toshining mustahkamligini sezilarli darajada oshirishini ko‘rsatdi.

Tarkibi	Siqilishga mustahkamligi, MPa
Tekshiruv tarkibi	29,0
KZ-TM-15	33,0
KZ-TM-20	37,0
KZ-TM-30	38,0

Kremnezol modifikatorlarining siqilishdagi mustahkamlikka ta'siri

Nazorat tarkibi va KZ-TM seriyali nanomodifikatorlar bilan olingan natijalar.



KZ-TM-30 kremniy zolidan foydalanilganda eng yuqori samaradorlikka erishildi. Bunda mustahkamlikning o'sishi nazorat tarkibiga nisbatan 30 foizdan oshdi.

Olingan natijalar kremniy dioksidi nanozarrachalarining yuqori reaksiya qobiliyatiga ega ekanligini ko'rsatadi. Ular sementning gidratatsiya jarayonlarida faol ishtirok etib, qo'shimcha miqdorda kalsiy gidrosilikatlarining hosil bo'lishiga olib keladi.

Zarrachalarning o'lchami bo'yicha taqsimlanishini tadqiq qilish shuni ko'rsatdiki, komponentlarni birgalikda maydalash yuqori dispersli va zarrachalari bir tekis taqsimlangan tizim hosil qilish imkonini berar ekan.

Mayda dispersli fraksiya miqdorining oshishi komponentlarning o'zaro ta'sir solishtirma yuzasini kengaytirib, sement gidratatsiyasini tezlashtiradi va qotgan sement toshining tuzilishini yaxshilaydi.

Maydalashning optimal vaqti taxminan 5 daqiqani tashkil etib, bu aralashmaning bir xilligini maksimal darajada ta'minladi.

Rentgenofazaviy tahlil natijalariga ko'ra, modifikatsiyalangan tarkiblarda kalsiy gidrosilikatlarining ancha jadalroq hosil bo'lishi aniqlandi.

Kremnezol qo'shilganda, reaksiyaga kirishmagan klinker minerallari miqdori kamayib, gidratli yangi hosilalar ulushi ortgani kuzatildi. Bu gidratatsiya jarayonlari tezlashganidan va sement toshining zichroq strukturasi shakllanganidan dalolat beradi.

Donador domna shlagidan foydalanish materialning mustahkamlik xususiyatlarini sezilarli darajada pasaytirmagan holda portlandsementni qisman almashtirish imkonini berdi.

Sement massasining 10–15% miqdorida shlak qo'shish eng maqbul natija berdi. Bunda g'ovaklar fazosi tuzilishining yaxshilanishi va tayyor mahsulot tannarxining pasayishi kuzatildi.

Olingan natijalar quruq qurilish qorishmalari tarkibida nanomodifikatorlar va faol mineral qo'shimchalardan birgalikda foydalanish samaradorligini tasdiqlaydi.

Mustahkamlikning oshishidagi asosiy mexanizm nanokremnezyomning putssolan faolligi bilan bog'liqdir. Kremniy dioksidi zarrachalari sement gidratatsiyasi jarayonida hosil bo'ladigan kalsiy gidroksidi bilan o'zaro ta'sirlashib, kalsiy gidrosilikatlarining qo'shimcha sintezlanishiga olib keladi.

Bundan tashqari, nanozarrachalar kristallanish markazlari vazifasini bajarib, sement toshining fazoviy strukturasi shakllanishini tezlashtiradi. Natijada yirik g'ovaklar va mikroyoriqlar miqdori kamayadi, bu esa materialning mexanik xususiyatlariga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

Domna shlakidan foydalanish ko'pikli beton tuzilmasini yanada zichlashtirishga va uning uzoqqa chidamliligini oshirishga yordam beradi. Shu tufayli sement sarfini kamaytirish va ishlab chiqarishning iqtisodiy samaradorligini oshirish imkoniyati yaratiladi.

Olingan ma'lumotlar sement kompozitlarini nanomodifikatsiyalash mexanizmlari to'g'risidagi zamonaviy qarashlarga to'la mos keladi va ko'rib chiqilayotgan tadqiqot yo'nalishining istiqbolli ekanini tasdiqlaydi.

Хулоса

O'tkazilgan tadqiqotlar asosida quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

1. Kremniyol nanomodifikatorlarining qo'llanilishi sementning gidratatsiya jarayonlariga va sement toshi strukturasi shakllanishiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

2. Eng samarali modifikator KZ-TM-30 hisoblanib, u sement toshining mustahkamligini 30% dan ortiqroqqa oshirishni ta'minlaydi.

3. Komponentlarni birgalikda maydalash granulometrik tarkibi yaxshilangan yuqori darajada bir jinsli quruq aralashmalar olish imkonini beradi.

4. Donador domna shlagidan foydalanish mustahkamlik xususiyatlarini sezilarli darajada pasaytirmagan holda sementni qisman almashtirish imkoniyatini yaratadi.

5. Ishlab chiqilgan tarkiblarni O'zbekiston Respublikasi qurilish sohasi sharoitida energiya tejankor, issiqlik izolyatsiyalovchi-konstrukion ko'pikbetonlar ishlab chiqarish uchun tavsiya etish mumkin.

Адабиётлар

- [1]. Asqarov B.A. Zamonaviy qurilish materiallari va texnologiyalari. – Toshkent: Fan, 2021.
- [2]. Odilov N.A. Nanomodifikatsiyalangan sement kompozitsiyalari. – Toshkent, 2020.
- [3]. Xo'jayev Sh.R. G'ovakli betonlar olishning nazariy asoslari. – Toshkent, 2019.
- [4]. Mirzayev A.A. Energiya tejankor qurilish materiallari. – Toshkent, 2022.
- [5]. GOST 10180–2012. Betonlar. Mustahkamlikni aniqlash usullari.
- [6]. GOST 25485–89. G'ovakli betonlar. Texnik shartlar.
- [7]. O'zbekov K.S. Mineral qo'shimchalarning ko'pikli beton xossalriga ta'sirini o'rganish // O'zbekiston qurilishi va me'morchiligi. – 2023. – №4. – B. 25–31.

ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СУХИХ ШТУКАТУРНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВЫХ ВЯЖУЩИХ

М.О. Асаматдинов., Б.Р. Турсымуратов

Каракалпакский государственный университет

**Автор для корреспонденции, e-mail: maratasamatdinov@gmail.com*

(Получена 03.09.2026 г.)

Аннотация: В статье рассмотрены основные характеристики сырьевых материалов для производства сухих штукатурных смесей на основе известковых вяжущих. В качестве основного вяжущего использовалась известь Кызылкумцемент, а в качестве заполнителя — местный барханный песок Республики Каракалпакстан. Приведены данные по активности извести, содержанию оксидов кальция и магния, скорости гашения, плотности и удельной поверхности материалов. Выполнен анализ пригодности местного сырья для получения сухих строительных смесей.

Ключевые слова: известь строительная, песок для строительных работ, известковая штукатурка, системы отделочных материалов, паропроницаемость, водопоглощение поверхности.

Abstract: This article examines the principal characteristics of raw materials for the production of dry plaster mixes based on lime binders. Kyzylkumcement lime was used as the primary binder, and local barchan sand from the Republic of Karakalpakstan was used as the aggregate. The article presents data on lime activity, calcium and magnesium oxide content, slaking rate, density, and the specific surface area of

the materials. An analysis of the suitability of local raw materials for producing dry building mixes was conducted.

Keywords: construction lime, construction sand, lime plaster, finishing material systems, vapor permeability, surface water absorption.

Annotatsiya: Maqolada ohakli bog'lovchilar asosidagi quruq suvoq aralashmalarini ishlab chiqarish uchun mo'ljallangan xomashyo materiallarining asosiy xususiyatlari ko'rib chiqilgan. Asosiy bog'lovchi sifatida "Qizilqumsement" ohagi, to'ldiruvchi sifatida esa Qoraqalpog'iston Respublikasining mahalliy barxan qumi qo'llanilgan. Ohakning faolligi, tarkibidagi kalsiy va magniy oksidlarining miqdori, so'nish tezligi, materiallarning zichligi hamda solishtirma yuzasi to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan. Quruq qurilish aralashmalarini tayyorlash uchun mahalliy xomashyoning yaroqliligi tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: qurilish ohagi, qurilish ishlari uchun qum, ohakli suvoq, pardoqlash materiallari tizimlari, bug' o'tkazuvchanlik, sirtning suv shimishi.

Введение

Сухие штукатурные смеси на основе известковых вяжущих широко применяются в современном строительстве благодаря высокой пластичности, экологичности и удобоукладываемости. Особое значение имеет правильный подбор сырьевых компонентов, определяющих технологические и эксплуатационные свойства растворов.

Для Республики Каракалпакстан актуальным является использование местного сырья, позволяющего снизить себестоимость продукции и повысить эффективность строительного производства. В данной работе исследованы свойства извести Кызылкумского цементного завода и барханного песка Каракалпакстана.

В качестве вяжущего применялась строительная воздушная известь, полученная из Кызылкумского цементного завода. Известь относится к кальциевым быстрогасящимся известям.

2. Методы исследования

Основными показателями качества извести являются:

Известь, применяемая для производства, имеет следующие характеристики:

- Активные $\text{CaO} + \text{MgO}$ – 70-80% (3 сорт);
- Содержание MgO – не более 1%;
- Скорость гашения – 2-4 мин. (быстрогасящаяся);

Активность извести определяется суммарным содержанием активных оксидов кальция и магния. Чем выше содержание активных CaO и MgO , тем выше качество извести и интенсивнее процесс гашения приведены в таблице

Согласно ГОСТ 9179-2019, известь подразделяется по скорости гашения на:

- быстрогасящуюся — до 8 минут;
- среднегасящуюся — до 25 минут;
- медленногасящуюся — более 25 минут.

Физико-химические показатели извести Кызылкумского завода проводили в лаборатории Каракалпакского гос. Университета результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика извести Кызылкумского цементного завода

Показатель	Значение
Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$	82–88 %
Содержание MgO	3–5 %
Активность извести	84–90 %
Скорость гашения	6–8 мин
Истинная плотность	2,15–2,30 г/см ³
Насыпная плотность	850–950 кг/м ³
Удельная поверхность	4500–6000 см ² /г
Остаток на сите №008	10–15 %

Показатели соответствуют требованиям строительных воздушных известей для штукатурных растворов. Высокая активность обеспечивает интенсивное взаимодействие с водой и формирование пластичного известкового теста.

Скорость гашения исследуемой извести составила 6–8 минут, что позволяет отнести материал к быстрогасящимся известям. Такая известь обеспечивает хорошую технологичность сухих штукатурных смесей и способствует ускоренному набору пластичности раствора.

Удельная поверхность извести находилась в пределах 4500–6000 см²/г, что положительно влияет на дисперсность и водоудерживающую способность смеси.

Барханные пески Республики Каракалпакстан имеют желтовато-оранжевую окраску, которую мы применили качестве мелкого заполнителя. Данный материал отличается высокой доступностью и низкой стоимостью, однако требует оценки гранулометрического состава и физико-механических характеристик.

Барханные пески региона имеют мелкую структуру и пониженный модуль крупности. Для штукатурных растворов это может быть положительным фактором, поскольку мелкие частицы обеспечивают:

- повышение пластичности;
- улучшение удобоукладываемости;
- снижение расслаиваемости;
- улучшение структуры штукатурного слоя.

Полученные данные в таблице 2 показывают, что песок относится к мелкозернистым заполнителям. Небольшой модуль крупности способствует повышению пластичности штукатурных растворов и улучшает качество отделочной поверхности.

Однако из-за повышенной дисперсности барханных песков возможно увеличение водопотребности смеси. Поэтому рекомендуется применение водоудерживающих и пластифицирующих добавок.

Таблица 2

Основные свойства барханного песка

Показатель	Значение
Модуль крупности	0,8–1,1
Средняя плотность	1450–1550 кг/м ³
Истинная плотность	2,60–2,65 г/см ³
Содержание пылевидных частиц	3–5 %
Влажность	1–3 %
Размер зерен	0,14–0,63 мм
Содержание SiO ₂	88–94 %

Качество сухих штукатурных смесей во многом зависит от свойств известкового вяжущего и заполнителя.

Высокая активность извести способствует:

- ускоренному гашению;
- повышению пластичности;
- улучшению адгезии раствора;
- повышению водоудерживающей способности.

Мелкодисперсный барханный песок обеспечивает:

- гладкость штукатурного слоя;
- снижение расхода вяжущего;
- повышение удобства нанесения.

Одновременно повышенная тонкость песка требует регулирования водоцементного отношения и применения минеральных добавок для предотвращения усадочных трещин.

3. Выводы

Проведенные исследования показали возможность эффективного использования извести Кызылкумского цементного завода и местного барханного песка Республики Каракалпакстан для производства сухих штукатурных смесей.

Установлено, что:

известь обладает высокой активностью (84–90 %);

скорость гашения составляет 6–8 минут;

удельная поверхность достигает 4500–6000 см²/г;

барханный песок имеет мелкодисперсную структуру и пригоден для штукатурных составов.

Использование местного сырья позволяет снизить себестоимость сухих смесей и расширить сырьевую базу строительной индустрии Республики Каракалпакстан.

Список литературы

- [1]. Асаматдинов М.О., Румянцев Г.Б. /Моделирование при оптимизации штукатурных систем //В сборнике: Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. сборник материалов международной научной конференции. ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ». 2017. С. 582-586.
- [2]. Жуков А.Д., Коровяков В.Ф., Наумова Т.А., Асаматдинов М.О. /Штукатурные смеси на основе глиногипса.//Научное обозрение. 2015. № 10-2. С. 98-101.
- [3]. Шабданов М.Д. и др. Улучшение технологических и эксплуатационных характеристик известковой сухой штукатурной смеси. / Известия ОшТУ 2023 №1. С. 36-42.
- [4]. Фролов М.В., Логанина В.И., Пылаев В.С. Эффективность применения известковой штукатурной смеси в качестве отделочного слоя наружных стен зданий Вестник ВолГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2025. № 2 (99). С. 59-66
- [5]. Джабиров Н.В., Иванова Т.А. Сравнительные характеристики методов испытаний и области применения сухих строительных смесей для штукатурных работ на цементном, гипсовом, цементно-известковом вяжущем. /Современные научные исследования и инновации. 2017. № 12 (80). С. 28.
- [6]. Панченко Д.А., Румянцева В.Е. Исследование возможности производства сухой известковой штукатурной смеси на основе полуфабриката для производства силикатного кирпича. /Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы //(ПОИСК). 2022. № 1. С. 354-356.
- [7]. Румянцева В.Е., Панченко Д.А., Панченко Ю.Ф./ Разработка состава сухой штукатурной смеси на основе извести. //Архитектура, строительство, транспорт. 2022. № 2. С. 39-46.
- [8]. ГОСТ 9179–2018. Известь строительная. Технические условия.
- [9]. ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ.
- [10]. Шангина Н.Н., Харитонов А.М. /Реставрационная сухая смесь.// Патент на изобретение RU 2627333 C1, 07.08.2017. Заявка № 2016127301 от 06.07.2016.

1. “Илмий – техника журнали” (“Научно – технический журнал”, “Scientific – Technical Journal”) саҳифаларида фундаментал ва техника фанлари соҳасида янги илмий натижаларга эга бўлган ва 50 % дан ортиқ қисми илгари эълон қилинмаган ўзбек, рус, инглиз тилларида тайёрланган мақола ва қисқа хабарлар қуйидаги бўлимлар бўйича чоп этилади: **физика-математика фанлари; механика; қурилиш; энергетика, электротехника; электрон қурилмалар ва ахборот технологиялари; кимёвий технология ва экология; ижтимоий-иқтисодий фанлар; қисқа хабарлар.**

2. Мақола стандарт A4 ўлчамдаги оқ қоғознинг бир томонида чапдан 30 мм, ўнгдан 15 мм, юқоридан ва пастдан 20 мм кенгликда жой қолдириб, **Times New Roman** шрифтида, **12 pt** ўлчамда, қаторлар ораси **бир оралиқ** билан ёзилади ва икки нусхада тақдим қилинади. Мақолалар ҳажми чизмаларсиз **саккиз саҳифадан**, қисқа хабарлар эса **уч саҳифадан** ошмаслиги ва иккинчи нусхасида барча муаллифлар фамилияси, исми ва шарифларини кўрсатиб имзо чекишлари лозим.

3. Мақолага қуйидагилар илова қилинади: иш бажарилган **ташкилот йўлланмаси**; ўзбекча, русча ва инглизча **аннотациялар** (бир хил мазмунда ва 5-6 қатордан ошмаслиги зарур), **таянч сўзлар, мақола номлари; эксперт хулосаси; муаллифлар тўғрисида маълумот** (иш жойи, лавозими, телефони, e-mail). Муаллифлар орасида фан доктори бўлмаган тақдирда, шу соҳа ихтисослиги бўйича **фан докторининг тавсияси** тақдим этилади.

4. Формулалар компьютерда Word формулалар муҳаррирининг Math Type версиясида ёзилади. Чизмалар ва диаграммалар стандарт қоидаларга риоя қилинган ҳолда 10×10 см дан катта бўлмаган ўлчамда тайёрланиши, ёзувлар имкони борида сонлар ёки ҳарфлар кўринишида берилиши ва улар мақола саҳифасида ёки чизмага иловада тушунтирилиши лозим. Мақолада чизмалар сони **4** тагача, қисқа хабарларда эса **2** тагача рухсат этилади.

5. Мурожаат қилинган адабиётлар рўйхати мақола охирида қуйидаги тартибда келтирилади: муаллифнинг фамилияси, исми, шарифи, китоб (журнал)нинг номи, нашриёт (китоблар учун) йили, журнал номери, саҳифа (журнал учун). Мақола саҳифаларида адабиётларга илова рақам билан тартибли равишда квадрат қавс ичида (масалан [7] кўринишида) берилади.

6. Мақолани тайёрлашга ўта синчковлик ва ўткир диққат билан ёндошиш тавсия этилади. У илмий ва грамматик жиҳатдан юқори даражада талабчанлик билан илмий мақола мақомида таҳрирланган бўлиши лозим: саёз мазмундаги, ғализ ва узундан-узоқ жумлаларни ишлатмаслик; мақоланинг илмий йўналишига, шу куннинг ечилмаган ва долзарб муаммоларига баҳо берилиши; ишнинг асосий мақсади, қўйиладиган масалалар ва уларни ечиш услублари, олинган янги илмий натижалар ва уларнинг таҳлили ҳамда аниқ хулосалар қатъий кетма-кетликда равон тилда баён қилиниши лозим.

7. Таҳририят зарурат бўлганда тақдим этилган мақола ва қисқа хабарларни таҳрир қилиш ҳуқуқига эга. Улар сўзсиз таҳририят аъзоларига ёки бошқа тегишли мутахассисларга тақризга берилади.

8. Агар мақола муаллифга қайта ишлаш учун қайтарилса, мақоланинг охириги кўриниши олинган кундан бошлаб мақола таҳририятга тушган ҳисобланади.

Журнални чоп этишда doc. MS Word 97 (2003) таҳририда ишловчи дастурлардан фойдаланилади.

Мақолаларини ўз вақтида чоп этилишини истаган муаллифлар таҳририятга ана шу дастурдан фойдаланган ҳолда компьютерда терилган электрон вариантини тақдим этишлари мақсадга мувофиқдир.

9. **Журналнинг электрон вариантларини ФДТУ веб-сайти <http://www.fstu.uz> (faoliyat→ilmiy faoliyat→ilmiy jurnal) дан топиш мумкин.**

Кўрсатилган қоидалар асосида тайёрланмаган мақолалар таҳририят томонидан қабул қилинмайди.

1. На страницах «Научно-технического журнала» публикуются статьи и краткие сообщения в области фундаментальных и технических наук, содержащие новые или более 50 % ранее не опубликованные научные результаты, на узбекском, русском или английском языках по следующим разделам: **фундаментальные науки; механика; строительство; энергетика, электротехника; электронные устройства и информационные технологии; химическая технология и экология; социально-экономические науки; краткие сообщения.**

2. Статья представляется в двух экземплярах на белой бумаге стандартного формата А4 с полями: слева 30 мм, сверху и снизу по 20 мм, справа 1,5 мм; шрифт Times New Roman 12 pt, междустрочное расстояние один интервал. Общий объем статьи не должен превышать восьми страниц, не считая рисунков, кратких сообщений же не более трёх страниц. Второй экземпляр статьи представляется с подписями всех авторов.

3. К статье прилагаются: **направление учреждения**, в котором выполнена работа; **экспертное заключение** (для авторов из Республики Узбекистан); на узбекском, русском и английском языках **аннотация** (из 5-6 строк одинакового содержания), **ключевые слова, название статьи; сведения об авторах** (место работы, должность, телефон, e-mail). В случае отсутствия среди авторов доктора наук представляется рекомендация доктора наук в области этой специальности.

4. Для написания формул в тексте необходимо пользоваться редактором Word Math Type. Формулы нумеруются в сквозном порядке. Для обозначения физических, математических и химических величин, включая индексы, применяются исключительно латинские и греческие буквы. Нельзя обозначать различные величины одной и той же буквой. Подготовленные рисунки и диаграммы должны соответствовать стандартным требованиям и не превышать размеры более чем 10x10 см, надписи, индексы или буквенные обозначения, желательно указать и пояснить на страницах статьи или в приложениях к рисункам.

5. Список литературы представляется в конце статьи в следующем порядке: Ф.И.О. авторов, название книги (журнала), год издания (для книг), номер журнала, страницы (для журналов). На страницах статьи ссылки на цитируемую литературу представляются в порядке упоминания арабской цифрой в квадратных скобках, например: [1].

6. Внимательно относитесь к стилю своей статьи, который должен отвечать требованиям высокой степени редактирования, как в отношении научности, так и грамматики. Избегайте длинных фраз поверхностного содержания. Для лучшего восприятия большой статьи читателями рекомендуется разбить текст на разделы: например, 1. Введение, 2. Методика эксперимента, 3. Экспериментальные результаты, 4. Заключение. Следует обязательно указать основную цель работы, постановку задач, актуальность и современность проблемы, методы и способы решения, полученные новые научные результаты и их анализ, а также конкретные выводы.

7. Представленные в редакцию статьи направляются для рецензирования членам редакции или другим соответствующим специалистам. Определяются, соответствует ли статья тематике журнала, есть ли в ней четко сформулированные новые научные результаты, достаточно ли надёжно обоснованы выводы, понятно ли изложен материал. При необходимости статья может быть отредактирована.

8. В случае возврата статьи авторам для доработки срок её поступления в редакцию, считается со дня поступления последнего её варианта.

При печати материалов журнала применяется текстовый редактор doc.MS Word 97 (2003). Для своевременного опубликования статьи, авторам необходимо представить электронный вариант статьи, набранный на компьютере с использованием указанной программы.

9. Электронные версии журнала доступны на веб-сайте ФГТУ <http://www.fstu.uz> (faoliyat→ilmiy faoliyat→ilmiy jurnal).

Статьи, не оформленные согласно вышеуказанным правилам, редакцией не принимаются.

INFORMATION TO THE AUTHORS !

1. On pages “Scientific – Technical Journal” are published articles and short messages in the field of the fundamental and technical science, containing new or more than 50% earlier not published scientific results, in Uzbek, Russian or English languages according to the following sections: fundamental sciences; mechanics; construction; power, electrical equipment; electronic devices and information technologies; chemical technology and ecology; social and economic sciences; short messages.

2. Article is submitted in duplicate on white paper of the standard A4 format with fields: at the left 30 mm, above and below on 20 mm, on the right 1,5 mm; Times New Roman 12 pt font, interlinear distance one interval. The total amount of article shouldn't exceed eight pages, apart from drawings, the short messages, no more than three pages. The second copy of article is submitted with signatures of all authors.

3. To article are applied: the direction of establishment in which work is performed; the expert opinion (for authors from the Republic of Uzbekistan); in Uzbek, Russian and English languages the summary (from 5-6 lines of the identical contents), key words, article name; data on authors (work place, position, phone, e-mail). In case of absence among authors of the doctor of science the recommendation of the doctor of science in the field of this specialty is submitted.

4. For writing of formulas in the text the Word Math Type editors need to use. Formulas are numbered in a through order. For designation of physical, mathematical and chemical quantities, including indexes, exclusively Latin and Greek letters are applied. It is impossible to designate various sizes the same letter the Prepared drawings and charts have to conform to standard requirements and not exceed the sizes more than 10x10 cm, inscriptions, indexes or alphabetic references, it is desirable to specify and explain on pages of article or in annexes to drawings.

5. The list of references is submitted at the end of article in the following order: First name, middle initial, last name authors, the name of the book (journal), year of the edition (for books), the issue of the journal, pages (for Journal). On pages of article of the link to quoted literature are represented as a mention in the Arab figure in square brackets, for example: [1].

6. Consider to the style of the article attentively which has to meet the requirements of high extent of editing as concerning scientific character, and grammar. Avoid long phrases of the superficial contents. For the best perception of big article readers recommend to break the text into sections: for example, 1. Introduction, 2. Experiment technique, 3. Experimental results, 4. Conclusion. It is necessary to specify surely a main objective of work, statement of tasks, relevance and the present of a problem, methods and ways of the decision, the received new scientific results and their analysis, and also concrete conclusions.

7. Articles presented to edition go for reviewing to members of edition or other corresponding experts. Are defined, whether there corresponds article to journal subject, whether there are accurately formulated according to new scientific results in it, whether it is enough reliably valid conclusions, whether the material is clearly stated. If necessary article can be edited.

8. In case of article return to authors for completion, the term of its receipt in edition, is considered from the date of receipt of its last option.

At the press of materials of the journal the text editor of doc.MS Word 97 (2003) is applied. For timely publication of article, authors need to present the electronic version of article gathered on the computer with use of the specified program.

9. The electronic version of the journal is available on the FSTU website, <http://www.fstu.uz> (faoliyat→ilmiy faoliyat→ilmiy jurnal).

Articles that are not prepared based on the specified rules will not be accepted by the editorial office.

ИЛМИЙ-ТЕХНИКА ЖУРНАЛИ
ТАҲРИРИЯТИ:

Масъул муҳаррир
Мусахҳиҳ
Мусахҳиҳ
Компьютерда саҳифаловчи

Н.Х. Юлдашев
А.Ш. Нигматуллина
Д.Х. Мамажонова
С.Э. Йўлдашева

Таҳририят манзили:
150107. Фарғона шаҳри, Фарғона кўчаси, 86 уй.
Телефон: 241-13-54.
Факс: 241-12-06.
Бизнинг сайт: <http://www.fstu.uz>
E-mail: jurnalfstu@mail.ru

Ўзбекистон Республикаси Президенти администрацияси ҳузуридаги
Ахборот ва оммавий коммуникациялар агентлиги томонидан
Оммавий ахборот воситаси сифатида давлат рўйхатидан ўтказилиб,
2020 йил 6 августда № 1081 рақамли гувоҳнома олинди.

Босишга рухсат этилди: 17.09.2026 й.
Бичими: А4. Гарнитура Times New Roman.
Босма табоғи: 15,25. Адади 10 нусха. Буюртма № 3.
Баҳоси шартнома асосида.
УП «FDTU ALPHA PRINT» босмахонасида чоп этилди.
Фарғона шаҳар, Фарғона кўчаси 86 -уй.