

TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.26/30.12.2019.T.11.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI

OBIDJONOV JAHONGIR TOXIR O'G'LI

MONOLIT QURILISH UCHUN FIBROBETONLARNING SAMARADOR
TARKIBLARINI ISHLAB CHIQISH

05.09.05 - Qurilish materiallari va buyumlari

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi

AVTOREFERATI

Toshkent–2025

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiya
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of Doctor of Philosophy (PhD)
on technical sciences**

Obidjonov Jahongir Toxir o'g'li

Monolit qurilish uchun fibrobetonlarning samarador tarkiblarini ishlab
chiqish.....5

Обиджонов Жахонгир Тохир угли

Разработка эффективных составов фибробетона для монолитного
строительства.....22

Obidjonov Jakhongir Toxir ugli

Development of effective fibre-reinforced concrete compositions for monolithic
construction.....42

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ

List of published works.....49

TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.26/30.12.2019.T.11.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI

OBIDJONOV JAHONGIR TOXIR O'G'LI

MONOLIT QURILISH UCHUN FIBROBETONLARNING SAMARADOR
TARKIBLARINI ISHLAB CHIQISH

05.09.05 - Qurilish materiallari va buyumlari

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI

Toshkent–2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.4.PhD/T3401 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent arxitektura-qurilish universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)), Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.taqu.uz va "ZiyoNet" Axborot-ta'lim portalida www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Raximov Shavkat Turdimurotovich

texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Bahodirov Azizbek Abdulazizovich

texnika fanlari doktori, professor

Majidov Samariddin Rashid o'g'li

texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Yetakchi tashkilot:

Farg'ona davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent arxitektura-qurilish universiteti huzuridagi Ilmiy darajalar beruvchi DSc.26/30.12.2019.T.11.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil "6" may soat 10⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahar, Yunusobod tumani, Yangishahar ko'chasi, 9a- uy. Tel.: (+99855) 508-02-95; faks: (+99855) 508-03-12, e-mail: devon@taqu.edu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent arxitektura-qurilish universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 142-raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent shahar, Yunusobod tumani, Yangishahar ko'chasi 9a-uy. Tel.: (+99855) 508-02-95; faks: (+99855) 508-03-12, e-mail: taqi_atm@edu.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil "16" aprel kuni tarqatildi.
(2025 yil "4" fevraldagi 52-raqamli reestr bayonnomasi).

X.A. Akramov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi
texnika fanlari doktori, professor

I.I. Siddiqov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari doktori, professor

B.A. Askarov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiya annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda qurilish sanoatining rivojlanishi bilan birga yuqori mexanik mustahkamlikka ega, yoriqbardoshli va umrboqiy bo'lgan qurilish materiallarini va beton turlarini ishlab chiqarishda resurs tejankor texnologiyalardan samarali foydalanish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda «...energiya tejankor qurilish materiallari ishlab chiqarish yiligi 30% ga o'sib kelmoqda, shundan ishlatiladigan betonning ulushi 70% ni tashkil etmoqda. 2030 yilga kelib, beton ishlab chiqarishning 43% dan ortig'ini fibrobeton tashkil etishi belgilangan»¹. Bu borada, jumladan urbanizatsiya, iqlim o'zgarishi va seysmik faollikning kuchayishi sharoitida ekspluatatsiya talablariga javob beradigan, ekologik xavfsiz, energiya tejankor va iqtisodiy samarador bo'lgan dipers armaturalangan betonlar tarkiblarini ishlab chiqish va qurilishda keng qo'llashga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda dipers armaturalangan betonlar tarkibini mahalliy xom ashyolardan, kimyoviy qo'shimchalar va tolalardan foydalanib optimallashtirish, fizik-mexanik xossalarini yaxshilash hamda qorishmalarda struktura hosil bo'lishini maqsadli boshqarishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, monolit qurilish uchun fibrobetonlarning optimal tarkiblarini ishlab chiqish, fizik-texnik xossalarini tadqiq etish, vaqt bo'yicha bardoshlilikini va uzoq muddatga chidamliligini, samaradorligini oshirish, ularni tayyorlash texnologiyasini ishlab chiqish bo'yicha tadqiqotlar ustivor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, fibrobeton olish uchun mahalliy xom ashyo materiallarini tanlash va asoslash, kimyoviy qo'shimchalarning betonning fizik-mexanik xossalariga ta'sirini hisobga olish hamda armaturalovchi tolalarning miqdoriy tarkibi va geometrik o'lchamlarini hisobga olgan holda fibrobetonning optimal parametrlarini aniqlash dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda qurilish materiallari sanoatida iqtisodiy islohotlarni yanada chuqurlashtirish, ishlab chiqarishni takomillashtirish va rivojlantirish, mahalliy xomashyo manbaalaridan kompleks va ratsional foydalanishga bog'liq holda keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan «...qurilish materiallari sanoati mahsulotlarining yangi turlarini ishlab chiqarishni o'zlashtirish, shu jumladan, zamonaviy uslubda.....boshqa mahsulotlarni ishlab chiqarish bo'yicha investitsiya loyihalarini amalga oshirish,...iqtisodiyotda energiya va resurslar sarfini kamaytirish, ishlab chiqarishda energiya tejaydigan texnologiyalarni keng joriy etish,...»² bo'yicha vazifalari belgilangan. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan, qurilishda beton turlarini keng ko'lamli qo'llash, mahalliy xom ashyolardan foydalanib, belgilangan xossa va ko'rsatkichlarga ega bo'lgan fibrobeton tarkibini va tayyorlash texnologiyalarni ishlab chiqish muhim hisoblanadi.

¹ <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/fiber-reinforced-concrete-frc-market>

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022 - 2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 23-maydagi PQ-4335-sonli "Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida»gi, 2022-yil 21-fevraldagi PQ-139-son "Uy-joylar qurilishini va qurilish materiallari sanoatini qo'llab-quvvatlashning qo'shimcha chora-tadbirlari to'g'risida»gi, 2023-yil 25-dekabrda PQ-404-son "2024-2026-yillarda O'zbekiston Respublikasining ijtimoiy va ishlab chiqarish infratuzilmasini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi, 2024-yil 17-apreldagi PQ-161-son "Bino va inshootlarning seysmik bardoshligini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi Qarorlari, 2020 yil 13 martdagi PF-5963-son "O'zbekiston Respublikasining qurilish sohasidagi islohotlarni chuqurlashtirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi, 2020 yil 27 noyabrda PF-6119-son "O'zbekiston Respublikasi qurilish tarmog'ini modernizatsiya qilish, jadal va innovatsion rivojlantirishning 2021 – 2025 yillarga mo'ljallangan strategiyasini tasdiqlash to'g'risidagi»gi, 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022 - 2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi, 2023-yil 11-sentabrda PF-158-son "O'zbekiston — 2030" strategiyasi to'g'risida" Farmonlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II «Energetika, energiya va resurstejamkorlik» ustuvor yo'nalishlari doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Monolit qurilish uchun samarali fibrobeton kompozitlarini ishlab chiqish muammosi so'nggi yillarda ilmiy jamoatchilikning diqqat markazidadir. Xalqaro miqyosda har xil turdagi dispers tolalarning fibrobetonning mexanik xossalari ta'sirini o'rganishga qaratilgan ko'plab tadqiqotlar o'tkazilgan, jumladan Bajenov Yu.M., Backer S., Batson G.B., Bocharnikov A.S., Volkov Y.V., Gulimova Y.V., Jozef L.L., Krenchel H., Lankard D., Li V.C., Lim Y.M., McGarry F.J., Malishev V.F., Mandel J.A., Nekrasov V.P., Naaman A.E., Puxarenko Yu.V., Rabinovich F.N., Rangan V.B., Romualdi J.P., Romanov V.P., Swamy R.N., Stavrides H., Shah S.P., Weakley R.D., Etheridge H., va boshqalar muhim natijalarga erishganlar.

Monolit beton texnologiyasini ishlab chiqishda erishilgan yutuqlar ko'plab taniqli olimlar va muhandislarning ishlari bilan bog'liq: Abramov L.I., Alekseev K.V., Axverdov I.N., Bajenov Yu.M., Besser Ya.R., Vavilov M.V., Gershanovich G.L., Gershberg O.A., Gordon S.S., Goroxov V.V., Desov A.E., Dorf B.A., Zinchenko N.A., Krilov B.A., Malinskiy E.N., Medvedev V.M., Mironov S.A., Miklashevskiy E.P., Osipov A.D., Petrov G.D., Sikranov A.N., Sizov B.V., Sovalov G., Sudakov V.B., Tilles R.S., Topchia V.D., Shestoporov S.V., Shtaerman Yu.Ya., Shkarin V.P. va boshqalar.

Yurtimiz olimlaridan Akramov X.A., Asqarov B.A., Ashrabov A.A., Gaziev U.A., Kamilov X.X., Miraxmedov M.M., Maxamatalliev I.M., Odilxo'jaev A.I., Qosimov E.U., Samig'ov N.A., Toxirov M.Q., Teshaboev R.D., To'laganov A.A., Turovov M.T., Xodjaev S.A., Xasanov B.B. beton va uning turlari bo'yicha, hamda

Muxamedbaev A.A., Yulchiev R.A., Razzoqov S.J. va boshqalar metall va bazalt tolalari asosidagi fibrobetonlar ustida tadqiqotlar olib borib, turli yillarda o'z tadqiqotlari asosida muhim ilmiy va amaliy natijalarga erishganlar.

Fibrobetonlarni o'rganishda sezilarli yutuqlarga erishilganiga qaramay, ularning tarkibini optimallashtirish, jumladan, tolalarning optimal turini, ularning miqdoriy tarkibi va mexanik xossalarini tanlash vazifalari to'la hal etilmagan. Shuningdek, ma'lum iqlim va ekspluatatsiya sharoitida bunday materiallarning umrboqiyli va fizik-mexanik xossalarini batafsilroq o'rganish masalalari yetarli darajada o'rganilmaganligini va yanada kengroq tadqiq qilishni talab etayotganligini ko'rsatmoqda.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent arxitektura-qurilish universitetining IL-722209824 "Bazalt, metall va shisha asosidagi, standartlarga javob beradigan va yuqori fizik-mexanik xossalarga ega tolali temir-beton ishlab chiqarish texnologiyasini yaratish" (2023-2024) loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi monolit qurilish uchun samarador fibrobeton tarkibini optimallashtirish va xossalarini tadqiq etishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

dispers armaturalangan fibrobeton olish uchun mahalliy xom ashyo materiallarini tanlash va asoslash;

bazalt va polipropilen tolalari, superplastifikatorning betonning fizik-mexanik xossalariga ta'sirini tadqiq etish;

armaturalovchi tolalarning miqdoriy tarkibi va geometrik o'lchamlarini hisobga olgan holda fibrobetonning optimal parametrlarini aniqlash;

turli tolalar asosida fibrobeton qorishmalar tayyorlash texnologiyasini ishlab chiqish;

monolit qurilish uchun ishlatiladigan fibrobeton tarkiblarini aprobatsiyasidan o'tkazish va iqtisodiy samaradorligini aniqlash.

Tadqiqotning obykti sifatida bazalt va polipropilen tolali va superplastifikator asosidagi fibrobeton olingan.

Tadqiqotning predmetini bazalt va polipropilen tolalar bilan armaturalangan fibrobetonning fizik-mexanik, fizik-kimyoviy va texnik-iqtisodiy parametrlari tashkil qiladi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqotlar jarayonida fizik-kimyoviy tahlilning zamonaviy usullaridan, struktura hosil bo'lishini rentgen-fazali, elektron-mikroskop tahlili, bazalt va polipropilen tolalari asosida olingan fibrobetonlarning sifat ko'rsatkichlari va xossalarini o'rganishning standartlashtirilgan usullaridan hamda fibrobeton qorishma tarkibini optimallashtirishni matematik usullaridan va eksperimentlar natijalarini statistik tahlil qilish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quydagilardan iborat:

fibrobetonning egilishga va siqilishga bo'lgan mustahkamligi tolalarning uzunligi va miqdoriga bog'liqligini ifodalovchi matematik model ishlab chiqilgan;

fibrobetonning fizik-mexanik xossalarini yaxshilash uchun komponentlarni qo'shishning turli ketma-ketliklarga ega bo'lgan qorishmalarni tayyorlashning

texnologik sxemalari ishlab chiqilgan, natijada tolalarning beton matritsa hajmi bo'ylab bir jinsli taqsimlanishi ta'minlangan;

beton matritsasi bilan o'zaro ta'siri jarayonida tolalarning tuzilishi va sement gidratatsiyasida hosil bo'lgan ishqoriy muhitning ta'siri natijasida bazalt tolalarining to'yingan Ca(OH)_2 eritmasiga nisbatan 2M NaOH eritmasida sezilarli darajada ko'proq korroziyaga uchraganligi aniqlangan;

fibrobetaonlarning fizik-mexanik xossalari tolalar va superplastifikatorning kompleks ta'siri hisobiga oshirilgan va harakatchanligi vaqt davomiyligida saqlanishi ta'minlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

superplastifikator va tolalarni qo'llash orqali xossalari bo'yicha me'yoriy talablarga javob beruvchi monolit qurilish uchun samarali fibrobetaon ishlab chiqarish mumkinligi ko'rsatib berilgan;

fibrobetaonlarni tayyorlashning texnologik parametrlari optimallashtirilgan, komponentlarni qo'shish ketma-ketligi va armaturalovchi tolalarni tarqalish usullari orqali beton matritsasida bir xil taqsimlanishi va qorishmaning bir jinsliliigi ta'minlangan;

tolalarning uzunligi, diametri, hajmiy tarkibining va superplastifikatorning fibrobetaonning mexanik xossalari ta'sir qilish qonuniyatlari o'rganilgan, betonning maksimal mustahkamligini ta'minlaydigan parametrlari aniqlangan;

korrelyatsion-regressiv tahlil asosida fibrobetaonning xossalari va tarkibi orasidagi bog'liqlik va bog'lovchilar sarfini kamaytirish bo'yicha optimallashtirish modeli ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarini ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi tadqiqotlarning zamonaviy vositalar va standart usullardan foydalangan holda o'tkazilganligi, tajribalarning qurilish me'yor va qoidalari asosida amalga oshirilganligi, tajriba va nazariy tadqiqot natijalarining o'zaro mutanosibliigi, hamda ishlanmaning amaliyotga joriy qilinganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati armaturalovchi tolalarning sement matritsasi bilan o'zaro ta'siri, ularning geometrik parametrlari va hajmiy tarkibining fibrobetaonning fizik-mexanik xossalari, shu bilan birga qotish sharoitida uning fizik-texnik xossalari, sifat ko'rsatkichlariga va umrboqiyiligiga ta'sirini o'rganish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati bino va inshootlarning monolit qurilishida ishlatiladigan beton tarkiblari va ularni tayyorlashning texnologik jarayonlarini tanlash, shu jumladan mustahkamlik, yoriqbardoshlilik va umrboqiylikni sezilarli darajada oshirish, shuningdek ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish, tolaning yoyilish jarayonlarini optimallashtirish va samarali modifikatsiya qiluvchi qo'shimchalardan foydalanish, qurilish amaliyotiga ommaviy joriy etish, konstruksiyalarning ishonchliligini oshirish va bu borada, mahalliy xomashyolar, superplastifikator va tolalardan foydalanib samarali fibrobetaon tarkiblarini ishlab chiqishga xizmat qilishidan iborat.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Monolit qurilish uchun fibrobetonlarning samarador tarkiblarini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

portlandsement, chaqiq tosh, qum, basalt va polipropilen tolalari va superplastifikator asosidagi fibrobetonlarning ishlab chiqilgan tarkibi, uni tayyorlash texnologiyasi "DSK BINOKOR" MChJ da (2024 yil 15 avgustdagi dalolatnoma) joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2024 yil 23 oktyabrdagi 24-06/10693-sonli ma'lumotnomasi). Natijada fibrobetonning siqilishga mustahkamligini 38,8-39,8 MPa dan 50,49-57,48 MPa gacha oshirish, qorishmaning harakatchanligini P1 dan P5 gacha oshirish, suvga talabchanligini 25-30 % gacha kamaytirish, qorishmalarni quvurlarda jo'natishni tezlashtirish imkonini bergan;

«Monolit qurilish uchun og'ir fibrobeton tarkibini hisoblash va modellashtirish» kompyuter dasturi "Kommunal LITI" davlat muassasasida (2024 yil 18 martdagi dalolatnoma) joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2024 yil 23 oktyabrdagi 24-06/10693-sonli ma'lumotnomasi). Natijada fibrobetonning suvga talabchanligini 25% ga kamaytirishga, siqilishga mustahkamligini oshirishga hamda an'anaviy betonga nisbatan 27–38% iqtisodiy samaradorlikka erishilgan;

portlandsement, chaqiq tosh, qum, basalt va polipropilen tolalari va superplastifikator asosidagi fibrobetonlarning optimal tarkibi "STROYTEST SERVICE" ATL MChJ da (2024 yil 13 avgust) va "SINOV SERTIFIKAT SERVIS" ATL MChJ korxonasida (2024 yil 3 avgustdagi dalolatnoma) laboratoriyalarida sinovdan o'tkazilgan va joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2024 yil 23 oktyabrdagi 24-06/10693-sonli ma'lumotnomasi). Natijada fibrobetonlarning mustahkamlik ko'rsatkichlari yaxshilangan, qorishmaning harakatchanligini P1 dan P5 gacha oshirishga erishilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari, 6 ta xalqaro va 2 ta respublika miqiyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 21 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta maqola: jumladan, 4 tasi respublika va 3 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan. Bundan tashqari 1 ta hisoblash dasturi uchun (№ DGU 27940, 09.10.2023) guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 115 sahifani tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning kirish qismida bajarilgan dissertatsiya tadqiqotining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlarga mosligi, tadqiqotning maqsadi va vazifalari hamda tadqiqot obyekti va predmeti keltirilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va olingan natijalarning ilmiy-amaliy ahamiyati ifodalangan, tadqiqot ishlari natijalarining ishlab chiqarishga tadqiqot etilganligi ta'kidlangan, tadqiqot ishlari natijalarining aprobatsiyasi haqida ma'lumotlar va dissertatsiya mavzusi bo'yicha chop etilgan ilmiy maqolalar, shuningdek, dissertatsiya strukturasi va hajmi to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Monolit qurilish uchun fibrobeton sohasidagi ilmiy tadqiqotlarning hozirgi holati va istiqbollari”** deb nomlangan birinchi bobida qurilishda fibrobetondan foydalanishning hozirgi holati va istiqbollari batafsil ko'rib chiqilgan. Ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, beton matritsalarini metall, bazalt, shisha va polimer tolalar bilan mustahkamlash ularning fizik-mexanik xossalarini, jumladan, mustahkamligini, yorilishga bardoshligi va tashqi ta'sirlarga chidamliligini sezilarli darajada yaxshilaydi.

Materialning yuqori ekspluatatsion xossalariga erishishning asosiy omili bo'lgan qorishmaning umumiy hajmida tolalarning bir xil taqsimlanishi muammosiga alohida e'tibor qaratildi. Mavjud asbob-uskunalarini moslashtirish va beton qorish usullarini takomillashtirish orqali tolalarning, ayniqsa, bazaltning bir xil taqsimlanishiga erishish mumkinligi aniqlandi.

Yetakchi mahalliy va xorijiy olimlar, jumladan, Jozef L.L., Naaman A.E., Ann Arbor, Romualdi J.P., Batson G.B., Mandel J.A., Weakley R.D., Etheridge H., Lankard D., Krenchel H., Shah S.P., Rangan V.B., McGarry F.J., Swamy R.N., Stavrides H., Nekrasov V.P., Bajenov Yu.M., Bocharnikov A.S., Volkov Y.V., Puxarenko Yu.V., Gulimova Y.V., Rabinovich F.N., Romanov V.P., Malishev V.F., Wang Y., Backer S., Li V.C., Lim Y.M., Wu H.C., Muxamedbaev A.A., Yulchiev R.A., Razzoqov S.J. va boshqalar iqlim va ekspluatatsion talablarni hisobga olgan holda fibrobeton ishlab chiqarish texnologiyasi va tarkibini optimallashtirishga qaratilgan keyingi tadqiqotlar uchun asos bo'ldi.

Binobarin, birinchi bobda keltirilgan tahlil betonning mustahkamligi, yorilishga bardoshliligi va umrboqiyiligini oshirish uchun armaturalovchi tolalarning ahamiyatini ta'kidlaydi. Ushbu bob xulosalari asosida tadqiqotning ishchi gipotezasi, maqsadi va vazifalari belgilab olindi.

Ishchi gipoteza. Fibrobetonning umrboqiyiligini va samaradorligini oshirish uning optimal tarkiblari va tayyorlashning ratsional texnologik rejimlari orqali erishish mumkin, bu beton ishqoriy muhitining bazalt tolasiga agressiv ta'sirini kamaytiradi va materialning fizik-mexanik xossalarini yaxshilaydi.

Dissertatsiyaning **“Foydalanilgan materiallarning xossalari va tadqiqot usullari”** deb nomlangan ikkinchi bobida, amaldagi materiallarning xossalari keltirilgan va tadqiqot usullari tavsiflangan. Eksperimental tadqiqotlarni o'tkazishda AJ «Ohangaronsment» va AJ «Bekobodsement» tomonidan ishlab chiqarilgan ЦЕМ I 42,5H klassli sement qo'llanildi. Mayda to'ldiruvchi sifatida yiriklik moduli

$M_{kr}=3,29$ bo'lgan Chirchiq daryosi karyerining qumi, yirik to'ldiruvchi sifatida o'lchamlari 5-10 mm va 10-20 mm bo'lgan, maydalanish bo'yicha markasi M1200 GOCT 8267-97 talablariga javob beradigan shag'al asosidagi chaqiqtoşhdan foydalanildi. Ishning eksperimental qismida fibrobeton qorishma plastikligini oshiruvchi qo'shimcha sifatida polikarboksilat asosidagi Sika ViscoCrete-SF 18 va polikarboksilat va lignosulfat asosidagi Mixfor FlowCrete 49/2 superplastifikatorlari ishlatildi.



1-rasm Tolalarning to'liq o'lchamli va SEM ($\times 100$) kattalashtirilgan tasviri: a) polipropilen tolasi; b) bazalt tolasi.

Armaturalovchi tolalar sifatida Jizzax viloyati Forish konining basalt toşidan olingan bazalt tolasi ishlatildi. Tolalarning o'rtacha diametri – 17 mkm, tolalar uzunligi – 6-18 mm, uzilishdagi mustahkamlik chegarasi – 1350 MPa, harorat qarshiligi 600 °C va MChJ “Fibromiks” tomonidan ishlab chiqarilgan polipropilen tolalari, tolalarning o'rtacha diametri – 20 mikron, tola uzunligi – 6-18 mm, uzilishdagi mustahkamlik chegarasi – 550 MPa, harorat qarshiligi - 160 °C (1-rasm).

Fibrobeton xossalarini o'rganish mikrostrukturani tahlil qilishning zamonaviy usullari, jumladan, yuqori aniqlikdagi skanerlovchi elektron mikroskopda va kristall tarkibini aniqlash uchun rentgen-fazali tahlil yordamida amalga oshirildi. Fibrobetonning siqilishga va egilishga bo'lgan mustahkamligi kabi fizik-mexanik xossalari GOCT 10180 talablariga muvofiq standart namunalarda aniqlandi.

Fibrobeton tarkibida tolalarning bir xil taqsimlanishiga alohida e'tibor qaratilib, bunda namuna olish va tahlil qilish, so'ngra quritish usullari bilan baholandi. Betonning muzlashga chidamliligi, suv o'tkazmaslik va ishqalanishga qarshiligini aniqlash uchun sinov ishlari bajarildi, bu bilan ekspluatatsion xossalarini har tomonlama o'rganish ta'minlandi. Fibrobeton qorishmalarining harakatchanligi va ularning suvni ushlab qolish xossasi standart usullar yordamida o'rganildi, bu ularning texnologik ko'rsatkichlarini tavsiflash imkonini berdi.

Dissertatsiyaning **“Monolit qurilish uchun fibrobeton qorishma tayyorlash texnologiyasini ishlab chiqish va bazalt tolaning korroziyaga bardoshligini aniqlash”** deb nomlangan uchinchi bobida fibrobeton tayyorlash sohasidagi ishlar asosida fibrobeton qorishmalarini tayyorlash texnologiyalari keltirilgan.

Standart qorishtirish usullari tolalarning bir xil taqsimlanishini ta'minlamasligi, aglomeratsiyaga olib kelishi va mustahkamlik xossalarining pasayishi eksperimental ravishda aniqlandi. Tadqiqotda turbulent va rotorli qorishtirgich ishlatildi. Turbulent qorishtirgich tolalarning samarali yoyilishini ta'minladi, lekin ularning shikastlanish xavfini oshirdi, rotorli qorishtirgich esa

nisbatan pastroq yoyilish bir xilligi bilan yengil qorish mumkinligini ko'rsatdi. Komponentlarni kiritishning turli ketma-ketliklari va qorishtirish rejimlariga ega bo'lgan materiallarni yuklashning to'rtta sxemasi ko'rib chiqildi (1-jadval).

Birinchi sxema: dastlab quruq qorishtirish uchun qorishtirgichga to'ldiruvchi va sement yuklanadi, keyin superplastifikator bilan suv qo'shildi va qorishtirish davom etdi. Bazalt tolalari asta-sekin kiritilib, ularning bir tekis taqsimlanishiga erishildi.

Ikkinchi sxema: barcha quruq komponentlar – to'ldiruvchi, sement va bazalt tolalari - bir vaqtning o'zida yuklandi va quruq holda qorishtirildi. Keyin plastifikator bilan suv qo'shildi va jarayon davom ettirildi.

Uchinchi sxema: dastlab quruq qorishtirish uchun to'ldiruvchilar va tolalar qo'shildi, keyin sement qo'shildi va davom ettirildi. Keyin plastifikator bilan suv qo'shildi va qorishma aralashtirildi.

To'rtinchi sxema: tolalar superplastifikator bilan suvning bir qismida oldindan taqsimlandi, ularning bir xil taqsimlanishiga erishildi. Keyin quruq qorishtirish uchun qorishtirgichga sement va qum qo'shildi, undan so'ng tolali suv qorishmasi qo'shildi va uch daqiqa davomida aralashtirildi.

Tadqiqot mayda donali va og'ir betonda, sement massasiga nisbatan 5% miqdorda tolalar qo'shilgan qo'shimchali va qoshimchasiz fibrobeton tarkiblarida amalga oshirildi.

1-jadval

Qabul qilingan sxemalar bo'yicha fibrobeton tayyorlash bosqichlari

Sxema №	Bosqichlari				Jami
1	Komponentlar	S+Q	Suv+Qo'	FT	
	Qorish vaqti	30 sek	60sek	90sek	3,0 min.
2	Komponentlar	Q+S+FT	Suv	Qo'	
	Qorish vaqti	60sek	60sek	30sek	2,3 min.
3	Komponentlar	Q+FT	S	Suv+Qo'	
	Qorish vaqti	30 sek	30sek	90sek	2,3 min.
4	Komponentlar	Suv+Qo'+FT	S+Q	SQo'FT	
	Qorish vaqti	60sek	30sek	90sek	3,0 min.

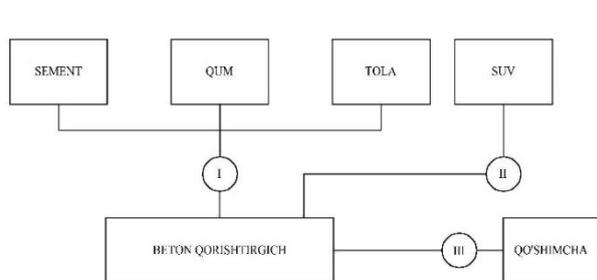
Bu yerda: S-ement; Q-qum; Qo'-qo'shimch; FT-fibrotola.

BCH 56-97 talablariga muvofiq, beton qorishmadagi armaturalovchi tolalarning taqsimlanishining bir xillik darajasi 10% dan 15% gacha bo'lgan o'zgaruvchanlik koeffitsienti (U) miqdoriy qiymati bilan hisoblandi. Ushbu parametrning qiymatlari qorishmaning yetarli darajada bir jinslilikini va beton matritsadagi tolalarning fazoviy taqsimlanish barqarorligini ko'rsatdi.

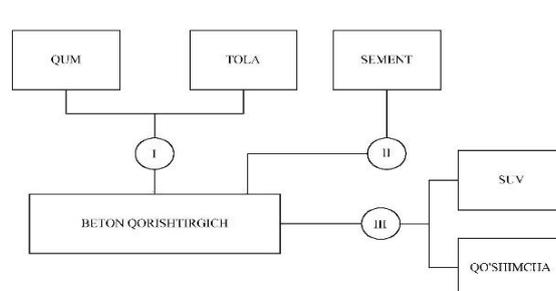
Beton matritsasi hajmida bazalt tolalarning yoyilishi qabul qilingan qorish sxemasi va qorishmaning tarkibiga qarab o'zgarishi aniqlandi. Biroq, o'zgaruvchanlik koeffitsienti (U) qiymati bilan belgilanadigan bir jinslilik mezonlari o'rganilgan tarkiblarda 15% dan oshmadi, bu esa me'yoriy talablarga javob berdi va dispers armaturalovchi tolalarning yoyilishining yetarli bir xilligini ko'rsatdi (2 va

3-rasmlar).

Fibrobetonning xossalarini tadqiq etishda uchinchi qarish sxemasi (U-8,0%) tanlandi, bunda, birinchi va to'rtinchi sxemalarga (U-13,0-13,8%) nisbatan qarishmaning hajmi bo'yicha tolalarning yoyilishi bir xilligining yuqori darajasi ta'minlandi. Ikkinchi tarkibda qarishning uchinchi sxemasini qo'llash, basalt tolallarini to'plamlarini alohida tolalarga yoyilishga yordam berdi, xolbuki, birinchi tarkibni qarish jarayoni tugagandan so'ng tolalarning yoyilishi bilan birga qisman tolalar top'lanishini ham saqlab qoldi (4-rasm).



2-rasm. 2-sxema bo'yicha fibrobeton tayyorlash bosqichlari blok sxemasi



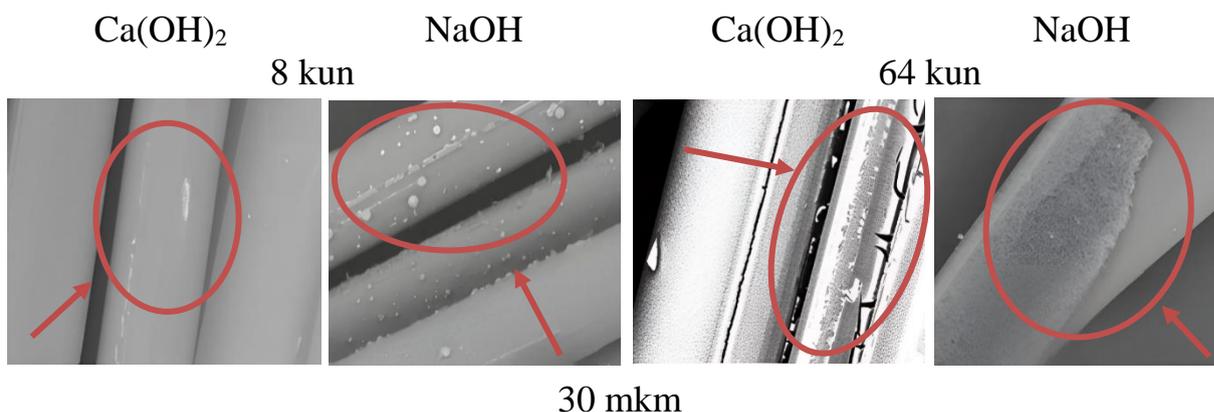
3-rasm. 3-sxema bo'yicha fibrobeton tayyorlash bosqichlari blok sxemasi



4-rasm. Bazalt tolasining taqsimlanishi: a) 1-tarkib; b) 2-tarkib

Sementning gidratsiyasi jarayonida yuzaga keladigan ishqoriy muhitni tadqiq qilish uchun $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (pH 12,4) va 2M NaOH (pH 13,6) ning to'yingan eritmalari ishlatildi. NaOH eritmasining ta'siri bazalt tolalarining kuchli degradatsiyasiga olib keldi, sirt qatlamlarini yemirilishi va SEM usuli bilan aniqlangan sharsimon korroziya zarralarini hosil bo'lishi kuzatildi (5-rasm). Tolalarning massasi 64 kun ichida 0,39 g ga kamaydi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ eritmasida esa yo'qotishlar 0,27 g ni tashkil etdi, bu muhitning past agressivligini ko'rsatdi.

Tolalar massasining eritma hajmiga nisbati 1:100 foydalanish pH o'zgarishlarini minimallashtirish orqali barqaror muhit parametrlarini ta'minladi. Olingan natijalar esa bazalt tolalarining korroziya darajasi to'g'ridan-to'g'ri muhitning konsentratsiyasi va kimyoviy faolligiga bog'liq ekanligini, bu tolali betonlarning chidamliligini bashorat qilishda hisobga olinishi kerakligini ko'rsatdi.



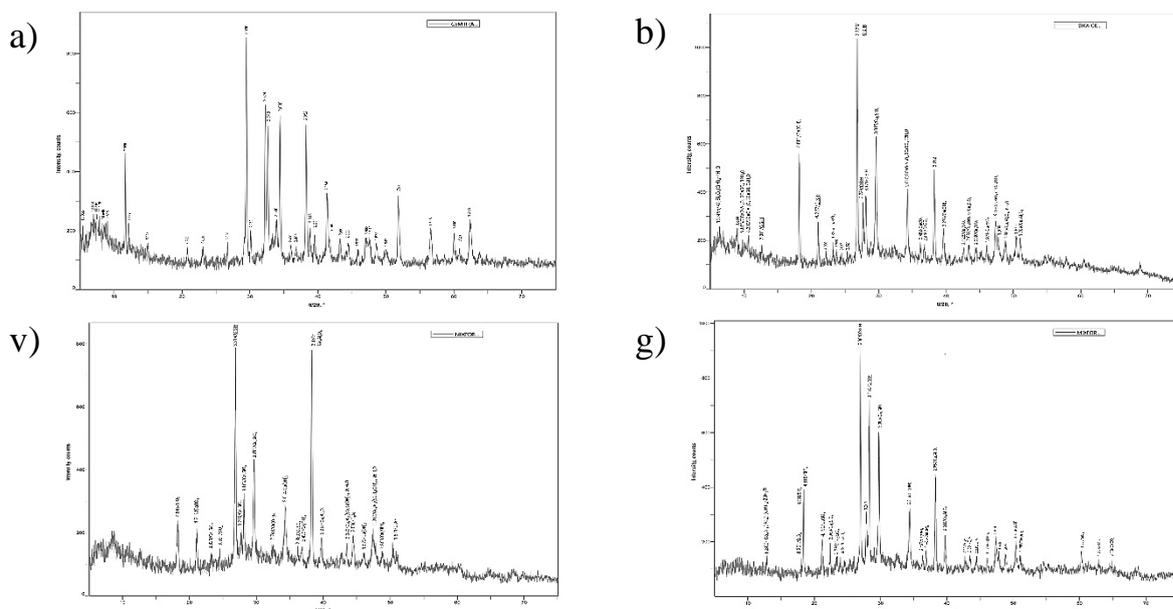
5-rasm. Bazalt tolasiga kaltsiy gidroksidi va natriy gidroksid eritmasida ishlov berilgandan keyingi ko'rinishi

Dissertatsiyaning “**Monolit qurilishda qo'llaniladigan fibrobeton tarkibini modellashtirish va optimallashtirish**” deb nomlangan to'rtinchi bobida bazalt va polipropilen tolalar bilan dispers armaturalangan mayda donali va og'ir fibrobeton tarkiblarini, fizik-mexanik, fizik-texnologik xossalari va dispers armaturalash samaradorligini oshirish uchun optimallashtirish bo'yicha eksperimental tadqiqot natijalari keltirilgan. Tadqiqotda qo'shimcha turining optimal miqdori, tolalarning uzunligi (bazalt va polipropilen tolalar 6, 12 va 18 mm) va hajmiy miqdorining betonning fizik-mexanik xossalari ta'siri o'rganildi.

Turli superplastifikatorlarning samaradorligini qiyosiy tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, eng yuqori samaradorlik "Sika SF18" va "Mixfor FlowCrete 49/2" tomonidan ko'rsatilgan, optimal miqdorlari mos ravishda sement massasiga nisbatan 0,8% va 1% qo'llaganda mini konus yoyilish diametri 220mm va 221mm ko'rsatdi. Olingan natijalar ushbu superplastifikatorlarning fibrobeton texnologik xossalari yaxshilashi bilan birga beton qorishmalarining zarur harkatchanligini ta'minlashini va samaradorligini tasdiqladi.

ЦЕМ I 42,5H sementning rentgen diffraktogramma tahlili xarakterli klinker fazalari, jumladan, 3,02 Å va 2,77 Å cho'qqilari alit (C_3S), 2,74 Å da belit (C_2S) va 4,90 Å va 1,79 Å cho'qqilari gidratatsiya mahsuloti bo'lgan portlandit ($Ca(OH)_2$), 9,66 Å va 3,56 Å cho'qqilarida etringit mavjudligini ko'rsatdi. Mixfor FlowCrete 49/2 qo'shimchali 7 kunlik namuna kaltsiy silikat gidratlari (C-S-H) cho'qqilari 3,01 Å va 3,29 Å, portlandit 2,61 Å va 4,84 Å cho'qqilari hosil bo'lishini, bu esa gidratatsiya reaksiyalarining qisman tugayotganini ko'rsatdi. 28 kunlik namunalarda C-S-H (3,00 Å va 3,20 Å) va portlandit (2,61 Å) cho'qqilarida o'sish kuzatildi, alit va belit cho'qqilarining intensivligi sezilarli darajada kamaydi, bu gidratatsiyaning rivojlanishini va yanada barqaror beton strukturasi shakllanishini ko'rsatdi.

Sika SF18 qo'shimchali 28 kunlik namunalarda C-S-H ning aniq o'sishini (3,22 Å va 3,92 Å) va portlandit (4,88 Å) miqdorining ko'payishini ko'rsatdi, bu superplastifikator ta'sirida gidratatsiyaning va fizik-mexanik xossalarning yaxshilanishini ko'rsatdi. Shunday qilib, Mixfor va Sika qo'shimchalaridan foydalanish gidratatsiya jarayonlarini samarali faollashtirdi, kaltsiy silikat gidratlarining shakllanishini tezlashtirdi va betonning mustahkamlik kabi xossalari yaxshiladi (6-rasm).



6-rasm. Qo'shimchasisiz va qo'shimchali namunalarning rentgen diffraktogrammasi:

- a) sement CEM I 42,5H; b) 28 kunlik Sika SF18 qo'shilgan namunalari;
 v) 7 kunlik Mixfor FlowCrete 49/2 qo'shilgan namunalari;
 g) 28 kunlik Mixfor FlowCrete 49/2 qo'shilgan namunalari.

Tolalarning beton matritsaga ta'sirini kompleks baholashda 12 mm uzunlikdagi, hajmiy miqdori bo'yicha 2% kiritilgan bazalt va polipropilen tolali mayda donali va og'ir fibrobetonning tarkiblari o'rganildi. Tolalarsiz nazorat tarkiblari qiyosiy tahlil uchun asos bo'lib xizmat qildi. Mayda donali fibrobeton uchun nazorat tarkibiga 420 kg sement, 1165 kg qum va 472 kg chaqiq tosh (5-10 mm fraksiya) kiritildi. Superplastifikatorlar (Sika SF18 va Mixfor FlowCrete 49/2) va tolalar bo'lgan tarkiblarda suv/sement nisbati 0,45-0,47 gacha kamaydi, zichlik 2407 kg/m³ ga yetdi, siqilishga bo'lgan mustahkamlik 52,0 MPa ni tashkil etdi, bu nazorat tarkibidan 35% yuqori ekanligini ko'rsatdi. Og'ir beton uchun uzunligi 12 mm bo'lgan bazalt tolalari (6,83 kg/m³) 2488 kg/m³ bo'lgan zichlik va 52,2 MPa bo'lgan siqilishga mustahkamlikni ta'minladi, bu nazorat tarkibidan 10% yuqori bo'ldi, egilishga bo'lgan mustahkamlik 6,8 MPa ga oshdi.

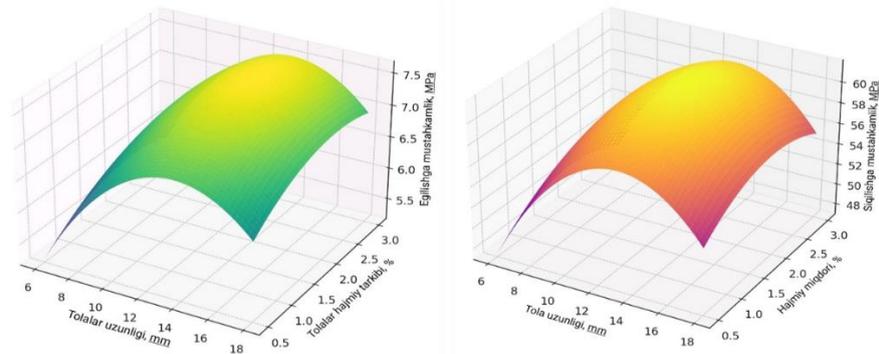
O'tkazilgan eksperimentlar natijalarini statistik tahlil qilish uchun ikki faktorli korrelyatsion regressiya usulida foydalanildi (7-rasm).

Fibrobeton namunalari egilishga bo'lgan mustahkamlikda (Y_{eg}) regressiya tenglamasi:

$$Y_{eg} = 6,80 + 1,12x_1 + 0,08x_2 - 0,05x_1^2 - 0,03x_2^2 + 0,02x_1x_2$$

Fibrobeton namunalari siqilishga bo'lgan mustahkamlikda (Y_{siq}) regressiya tenglamasi:

$$Y_{siq} = 50,60 + 0,60x_1 + 0,40x_2 - 0,15x_1^2 - 0,10x_2^2 + 0,05x_1x_2$$



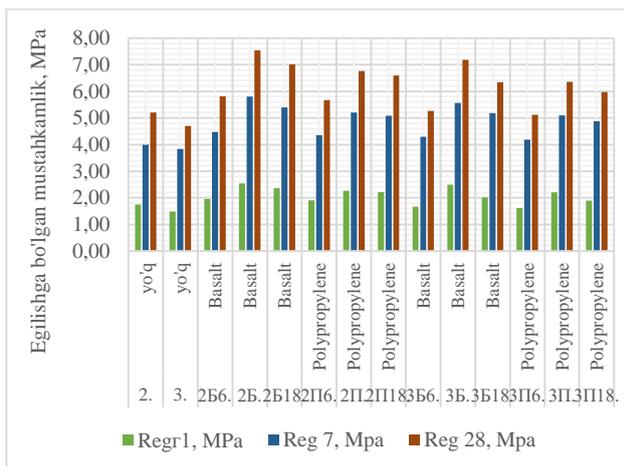
7-rasm. 28 kunlik fibrobetonning siqilishga va egilishga bo'lgan mustahkamligining o'zgaruvchan omillarga bog'liqligi:

a) egilishga bo'lgan mustahkamlik; b) siqilishga bo'lgan mustahkamlik

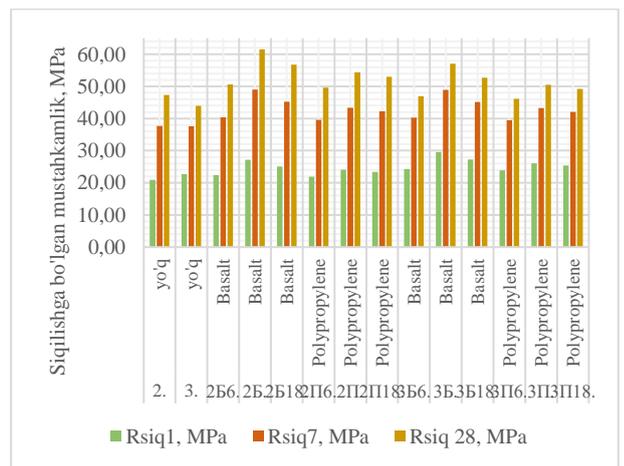
Optimal tola uzunligi monolit qurilish uchun tarkiblarda samarali foydalanish imkonini berdi. Tadqiqot natijalari bazalt tolasini uzunligining kompozitning mustahkamlik xossalari ta'sirini tasdiqladi. Optimal uzunlik mexanik xossalarni oshirib, matritsaga maksimal adgeziyani ta'minladi.

Eksperimental tadqiqot natijalar tahlili shuni ko'rsatdiki, bazalt tolasini kiritish fibrobetonning buzilish mexanizmlariga sezilarli ta'sir ko'rsatdi. Armaturalash jarayonida nazorat namunalarining bir vaqtda mo'rt buzilishidan farqli o'laroq, plastik deformatsiyalanish mexanizmi tufayli kechiktirilgan buzilishi kuzatildi.

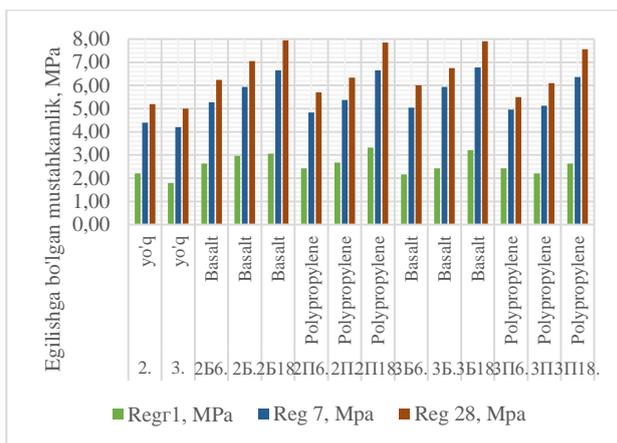
Optimal tola uzunligi (12 mm) mustahkamlik xossalari eng yaxshi muvozanatini va matritsada bir xil taqsimlanishni ta'minladi. Uzunligi 6 mm bo'lgan tolalar yoriqlar rivojlanishini samarali ravishda to'xtata olmaydi va 18 mm uzunlikda hajmiy miqdorning oshishi aglomeratsiya kuzatildi, bu esa mexanik xossalarni yomonlashtirdi (8 va 9-rasmalar).



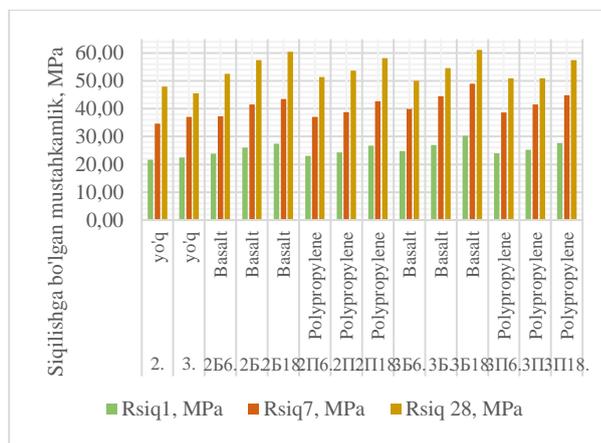
8-rasm. Mayda donali fibrobetonning tola uzunligiga nisbatan egilishga mustahkamlikning o'zgarish diagrammasi



9-rasm. Mayda donali fibrobetonning tola uzunligiga nisbatan siqilishga mustahkamlikning o'zgarish diagrammasi



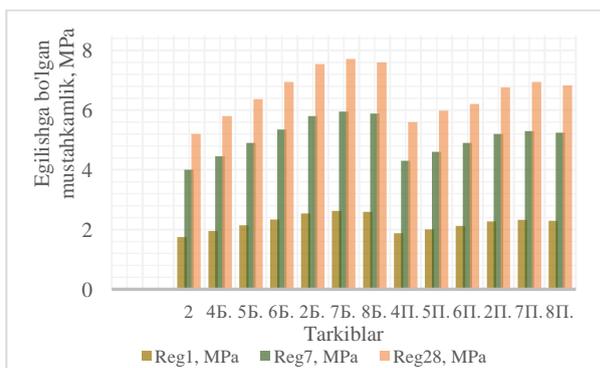
10-rasm. Og'ir fibrobetonning tola uzunligiga nisbatan egilishga mustahkamlikning o'zgarish diagrammasi



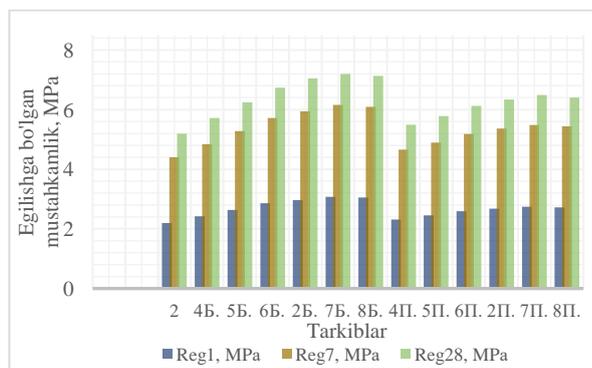
11-rasm. Og'ir fibrobetonning tola uzunligiga nisbatan siqilishga mustahkamlikning o'zgarish diagrammasi

Og'ir fibrobeton uchun mo'rtdan plastik buzilishga o'xshash o'tish aniqlandi. Optimal tola uzunligi 12 va 18 mm bo'lib, bir xil taqsimlashni ta'minlangan holda, yorilishni kamaytirdi va mustahkamlik xossalarini oshirdi. 6 mm uzunlikdagi tolalar cheklangan mustahkamlovchi ta'siri tufayli samarasiz bo'lib chiqdi (10 va 11-rasmlar).

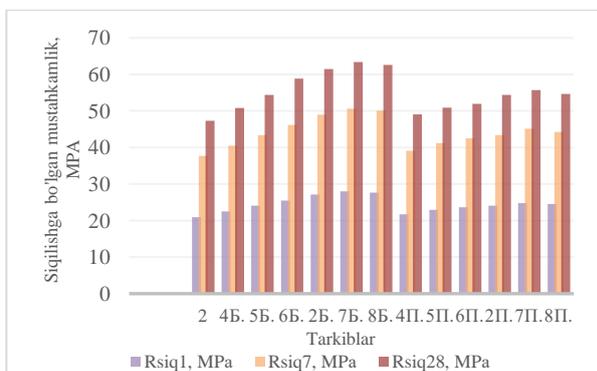
Tola miqdorining optimal diapazoni - 1,5-2,0% - qorishmalarning texnologik xossalarini saqlab, mustahkamlik xossalarini sezilarli darajada oshirishni ta'minladi. Shu bilan birga, bazalt tolalari polipropilen tolalar bilan solishtirganda mustahkamlikga nisbatan yaxshiroq ta'sir ko'rsatdi (12, 13, 14 va 15-rasmlar).



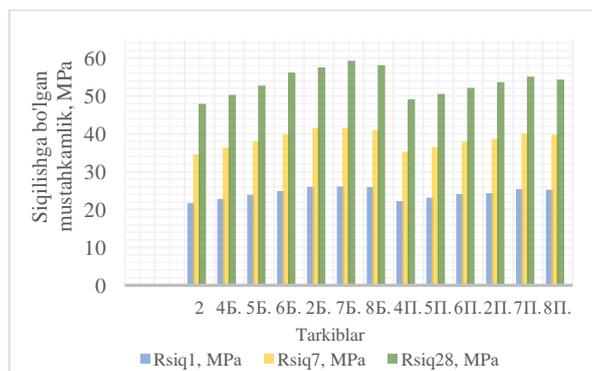
12-rasm. Bazalt tolasi miqdorining mayda donali fibrobetonning egilishga bo'lgan mustahkamligiga ta'siri



13-rasm. Bazalt tolasi miqdorining og'ir fibrobetonning egilishga bo'lgan mustahkamligiga ta'siri



14-rasm. Bazalt tolasi miqdorining mayda donali fibrobetonning siqilishga bo'lgan mustahkamligiga ta'siri



15-rasm. Bazalt tolasi tarkibining og'ir fibrobetonning siqilishga bo'lgan mustahkamligiga ta'siri

Mayda donali beton uchun 2,0% bazalt tolalari qo'shilishi egilishga mustahkamlikni 33% ga va siqilishga mustahkamlikni 10% ga oshirdi, bir xil tarkibdagi polipropilen tolalar esa mos ravishda 30% va 9% ga o'sishni ta'minladi. Xuddi shunday tendensiya og'ir betonda ham kuzatildi: bazalt tolalari egilishga mustahkamlikni 30% ga, siqilishga mustahkamlikni 9% ga, polipropilen tolalar esa egilishga mustahkamlikni 25% ga va siqilishga mustahkamlikni 8% ga oshirdi. Ushbu ma'lumotlar bazalt tolalari, ayniqsa, mayda donali betonda nisbatan armaturalovchi strukturani yaratishda samaraliroq ekanligini tasdiqladi. Fibrobetonning fizik-mexanik xossalari optimal dispers armaturalash parametrlari va ratsional tayyorlash rejimlarida o'rganildi (2 va 3-jadvallar).

2-jadval

1m³ mayda donali fibrobeton uchun materiallar sarfi

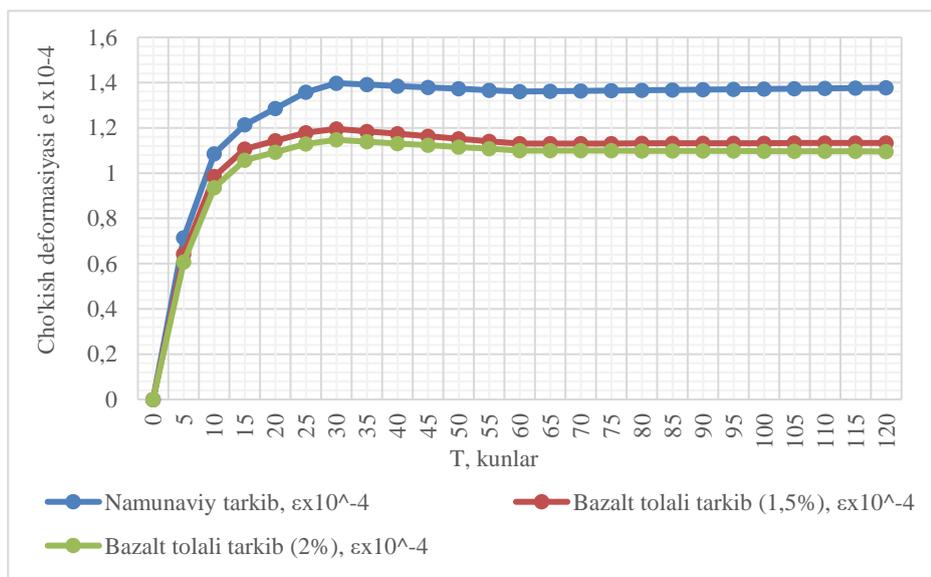
Tarkib	Sement (kg)	Qum (kg)		Qo'shimcha (kg)	Tolalar miqdori (кг)	Suv/Sem
		< 5mm	5-10			
2B.	377	1150	606	3,02	7,55	0,46
6B.	376	1155	606	2,96	5,55	0,46
2P.	377	1150	606	3,02	7,55	0,46
6P.	376	1155	606	2,96	5,55	0,46

3-jadval

1m³ og'ir fibrobeton uchun materiallar sarfi

Tarkib	Sement (kg)	Qum, (kg)	Chaqiq tosh (kg)	Qo'shimcha (kg)	Tolalar miqdori (kg)	Suv/Sem
2B.	341	779	1162	2,68	6,83	0,46
6B.	341	779	1168	2,68	5,02	0,46
2P.	341	779	1162	2,68	6,83	0,46
6P.	341	779	1168	2,68	5,02	0,46

Olingan natijalar fibrobetonning kirishish deformatsiyalariga va namlikning yo'qolishi hisobiga massa kamayishiga ta'sirini ko'rsatdi. Nazorat tarkibi (tolalarsiz) o'rtacha $1,378 \times 10^{-4}$ mm kirishishdagi deformatsiya va 120 kundan keyin -16,77 g vazn yo'qotishini ko'rsatdi, bu esa kuchli namlik yo'qotilishini aks ettirdi. Bazalt tolalari kirishishdagi deformatsiyalarini sezilarli darajada kamaytirdi. 1,5% tolali tarkib deformatsiyani $1,134 \times 10^{-4}$ mm (17,7% nazorat tarkibiga nisbatan past) va og'irligini -15,95 g gacha kamaytirdi, 2% tolalar miqdori bilan cho'kish $1,096 \times 10^{-4}$ mm (20,5% nazorat tarkibiga nisbatan past) va vazn yo'qotish -15,46 g gacha kamayishini ko'rsatdi (16-rasm).



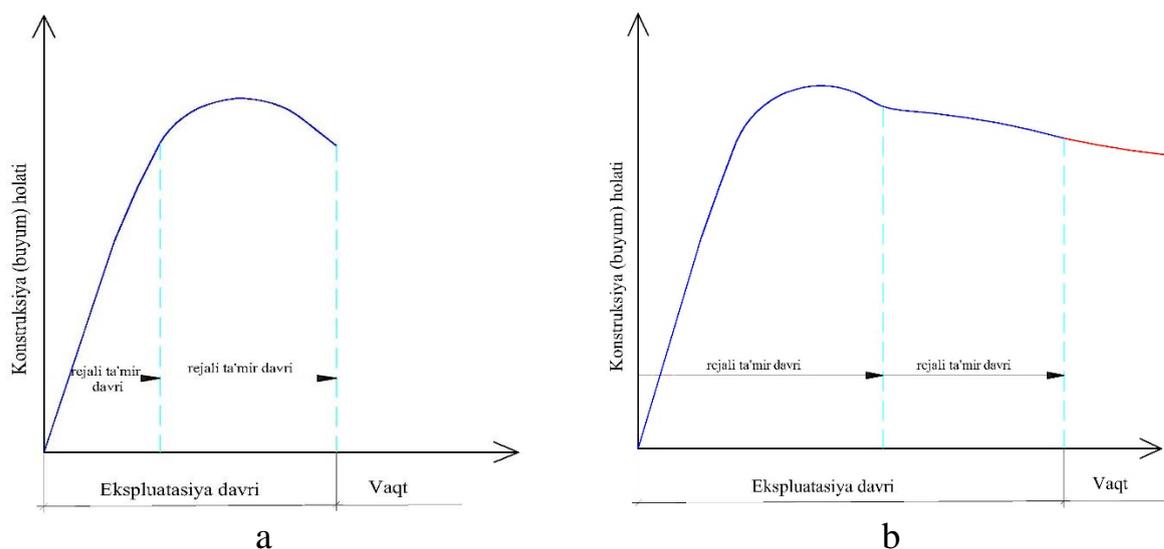
16-rasm. Nisbiy kirishish deformatsiyalarining o'sish egri chiziqlari

Fibrobetonning ekspluatatsion xossalarini o'rganish shuni ko'rsatdiki, tolalarini kiritish uning suvga chidamliligi, muzlashga bardoshlilik va ishqalanishga qarshiligini sezilarli darajada oshiradi. Tolalarsiz namunalrning suvga chidamliligi W6-W8 sinflariga to'g'ri keldi, tolalarining qo'shilishi esa sement toshining tuzilishini, zichligini va tolalar adgeziyasini yaxshilanishi tufayli suvga chidamliligi W10-W14 ga oshdi.

Materialning muzlashga bardoshlilik Γ OCT10060-2012 yordamida o'rganildi. Optimal tola miqdori (3% gacha) muzlashga bardoshlilikini ta'minladi, siklik muzlatishdan keyin massa va mustahkamlik yo'qotilishi minimallasdi. Nazorat tarkibda massa ortishi (2,95%) va mustahkamlikning pasayishi (10% dan ortiq) tufayli F200 marka bilan cheklandi.

Ishqalanishga chidamliligi 2% bazalt tolasiga ega bo'lgan fibrobeton strukturaning zichligi oshishi tufayli nazorat namunalariga nisbatan ishqalanishining 10% ga kamayganini tasdiqladi va ishqalanishga chidamlilik bo'yicha markasini G2 dan G1 oshirdi. Shunday qilib, bazalt tolalarining 1,5-2% oralig'ida beton tarkibiga kiritilishi suvga chidamlilik, muzlashga bardoshlilik va mexanik ishqalanishga qarshilikning optimal kombinatsiyasini ta'minladi.

Fibrobetonning iqtisodiy maqsadga muvofiqligi operatsion xarajatlarning 27–32% ga kamayishi va konstruksiyalarning xizmat qilish muddatini 25 yilga oshirish bilan tasdiqlandi.



17-rasm. An'anaviy beton va fibrobetonning umrboqiyliqi orasidagi bog'liqlik: a) an'anaviy beton; b) fibrobeton

Dastlabki xarajatlar 15–20% ga oshganiga qaramay (1m^3 uchun), ta'mirlash va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari dastlabki xarajatlarning 70% dan 30–40% gacha kamayishi nazariy hisoblab chiqildi. Mustahlamlik va yorilishga chidamlilikning oshishi mehnat xarajatlarini kamaytirdi, rentabellikni oshirdi va ob'ektning hayotiyliqi uchun umumiy xarajatlarni kamaytirdi (17-rasm).

XULOSALAR

“Monolit qurilish uchun fibrobetonlarning samarador tarkiblarini ishlab chiqish” mavzusidagi doktorlik (PhD) dissertatsiyasi bo'yicha bajarilgan eksperimental-nazariy tadqiqot natijalari asosida quyidagi umumiy xulosalar chiqarildi:

1. Tadqiqotlar natijasida yuqori samarador fibrobeton qorishmasini tayyorlash texnologiyasi blok sxemalri ishlab chiqildi va sinovdan o'tkazildi. Turbulent va rotorli qorishtirgichlardan foydalanish beton matritsasidagi tolalarning bir xil taqsimlanishiga erishish bilan materialning sifatiga ijobiy ta'sir ko'rsatdi. Materiallarni yuklash ketma-ketligini va har bir bosqichning davomiyligini optimallashtirish tolaning degradatsiyasini minimallashtirdi va bir jinsli beton qorishmasini ta'minladi. 3-sxema bo'yicha tarkibdagi tola miqdorining o'zgaruvchanlik koeffitsienti 10% dan kamligi, matritsada tolaning taqsimlanishining yuqori darajasini ko'rsatdi.

2. Ishqoriy eritmalarda o'tkazilgan tajribalar davomida bazalt tolalari to'yingan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ eritmasiga nisbatan 2M NaOH eritmasida sezilarli darajada ko'proq korroziyaga uchraganligi aniqlandi. Tajribaning 64 kunidan so'ng NaOH eritmasidagi tolalar massasi 2,00 g dan 1,91 g gacha kamaydi, bu boshlang'ich massaning 3,5% yo'qolishiga to'g'ri keldi, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ta'sirida esa yo'qotish faqat 2% ni tashkil etdi.

3. 12 mm uzunlikdagi va 1,5-2,0% bog'lovchi og'irligiga nisbatan bazalt tolalari qo'shilishi bilan mayda donali va og'ir fibrobetonning optimal tarkibi ishlab chiqildi. Ushbu tarkiblar qorishmaning yuqori texnologik xossalarini saqlab qolgan

holda, mustahkamlik xossalarini shu jumladan siqilishga mustahkamligini 15% gacha va egilishga mustahkamligini 35% gacha oshirdi.

4. Tola uzunligining fibrobetonning fizik-mexanik xossalariga ta'siri o'rganildi. Aniqlanishicha, 12 mm uzunlikdagi bazalt tolalari sement matritsasida kuchlanishlarni optimal taqsimlanishini ta'minladi va mustahkamlikni sezilarli darajada oshirishga, uzunroq tolalar (18 mm) esa aglomeratsiya tufayli qorishmaning harakatchanligini kamayishiga olib keldi va qisqa tolalar (6 mm) mustahkamlik xossalariga minimal ta'sir qildi.

5. Cho'kish deformatsiyasini va betonning namlik yo'qotilishini kamaytirish uchun bazalt tolalaridan foydalanish usuli taklif etildi. Eksperimental ravishda ma'lum bo'lishicha, tolalar qo'shilishi sement toshining mikrostrukturasini barqarorlashtirish orqali kirishish (cho'kish) deformatsiyalarini 17-20% ga va namlik yo'qotilishini 7-10% ga kamaytirdi.

6. Tola miqdoriy tarkibining betonning mexanik xossalariga ta'siri o'rganildi. Ma'lum bo'lishicha, bazalt tolalarining bog'lovchining og'irligi bo'yicha 1,5-2,0% oralig'ida optimal miqdori egilishga va siqilishga mustahkamlikning eng katta o'sishini ta'minladi, bu chegaradan oshish esa qorishmaning reologik xossalarining yomonlashishiga olib keldi.

7. Bazalt tolali fibrobeton suv o'tkazmaslik, muzlashga bardoshlik va ishqalanishga qarshilik kabi fizik-mexanik xossalarini nazarot tarkiblarga nisbatan yuqori ko'rsatkichlari bilan farqlandi.

8. Fibrobetonlarning optimal tarkiblari ishlab chiqildi va ulardan foydalanishning iqtisodiy samaradorligi aniqlandi. Xarajatlar tahlili shuni ko'rsatdiki, konstruksiyalarning xizmat qilish muddatini oshirish va an'anaviy betonga nisbatan ekspluatatsiya xarajatlarini 27-32% ga kamaytirdi, bu materialning umrboqiy konstruksiyalarda qo'llash mumkinligini tasdiqladi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.26/30.12.2019.Т.11.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ОБИДЖОНОВ ЖАХОНГИР ТОХИР УГЛИ

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СОСТАВОВ ФИБРОБЕТОНА
ДЛЯ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

05.09.05–Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Ташкент–2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки инноваций Республики Узбекистан под номером B2022.4.PhD/T3401.

Диссертация выполнена при Ташкентском архитектурно-строительном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.taqu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz)

Научный руководитель:

Рахимов Шавкат Турдимуротович

доктор философии по техническим наукам,
доцент

Официальные оппоненты:

Баходиров Азизбек Абдулазизович

доктор технических наук, профессор

Мажидов Самариддин Рашид угли

доктор философии по техническим наукам,
доцент

Ведущая организация:

Ферганский государственный технический университет

Защита диссертации состоится «6» мая 2025 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.26/30.12.2019.T.11.01 при Ташкентском архитектурно-строительном университете (Адрес: 100084, г.Ташкент, Юнусабадский район, ул.Янги шахар, дом 9а. Tel.: (+99855) 508-02-95; faks: (+99855) 508-03-12, e-mail: devon@taqu.edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского архитектурно-строительного университета (зарегистрирован за №142). (Адрес: 100084, г Ташкент, Юнусабадский район, ул.Янги шахар, дом 9а. Tel.: (+99855) 508-02-95; faks: (+99855) 508-03-12, e-mail: taqi_atm@edu.uz).

Автореферат диссертации разослан “16” апреля 2025 года.

(реестр протокола рассылки №52 от “4” февраля 2025 года).

Х.А. Акромов

Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

И.И. Сиддиқов

Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

Б.А.Асқаров

Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. С развитием строительной индустрии мира особое внимание уделяется эффективному использованию ресурсосберегающих технологий при производстве строительных материалов и различных видов бетона, обладающих высокой механической прочностью, трещиностойкостью и долговечностью. В настоящее время в развитых странах «... производство энергосберегающих строительных материалов ежегодно увеличивается на 30%, при этом доля используемого бетона составляет 70%. Ожидается, что к 2030 году более 43% от общего объёма производства бетона будет приходиться на фибробетон»¹. В этом направлении особое внимание уделяется разработке и широкому применению в строительстве дисперсно-армированных бетонов, которые соответствуют эксплуатационным требованиям в условиях урбанизации, изменения климата и повышения сейсмической активности. Эти бетоны характеризуются экологической безопасностью, энергосбережением и экономической эффективностью.

В мире проводятся научные исследования, направленные на оптимизацию состава дисперсно-армированных бетонов с использованием местного сырья, химических добавок и волокон, улучшение их физико-механических свойств, а также целенаправленное управление процессом формирования структуры в смесях. В данном направлении приоритетными являются исследования по разработке оптимальных составов фибробетонов для монолитного строительства, изучению их физико-механических характеристик, повышению долговечности, устойчивости во времени и эффективности, а также совершенствованию технологий их производства. Кроме того, актуальными задачами являются подбор и обоснование местного сырья для производства фибробетона, учет влияния химических добавок на его физико-механические свойства, а также определение оптимальных параметров фибробетона с учетом объемного содержания и геометрических размеров армирующих волокон.

В нашей республике в сфере промышленности строительных материалов реализуются масштабные меры, направленные на дальнейшее углубление экономических реформ, совершенствование и развитие производства, а также комплексное и рациональное использование местных сырьевых ресурсов. В стратегии развития «Новый Узбекистан» на 2022–2026 годы определены задачи, включая «... освоение производства новых видов продукции строительной индустрии, в том числе выпуск современных материалов, реализацию инвестиционных проектов, направленных на расширение ассортимента строительной продукции, снижение потребления энергии и ресурсов в экономике, широкое внедрение энергосберегающих технологий в производство...»². Выполнение этих задач требует широкого применения

¹ <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/fiber-reinforced-concrete-frc-market>

² Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития “Новый Узбекистан” на 2022–2026 годы»

различных видов бетона в строительстве, использования местного сырья для создания составов фибробетона с заданными характеристиками, а также разработки и совершенствования технологий его производства.

Диссертационное исследование в определенной степени способствует реализации задач, определенных в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-4335 от 23 мая 2019 года «О дополнительных мерах по ускоренному развитию промышленности строительных материалов», в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-139 от 21 февраля 2022 года «О дополнительных мерах по поддержке жилищного строительства и индустрии строительных материалов», в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-404 от 25 декабря 2023 года «О мерах по развитию социальной и производственной инфраструктуры Республики Узбекистан на 2024–2026 годы», в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-161 от 17 апреля 2024 года «О мерах по повышению сейсмостойкости зданий и сооружений», в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-5963 от 13 марта 2020 года «О дополнительных мерах по углублению реформ в строительной отрасли», в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-6119 от 27 ноября 2020 года «Об утверждении стратегии модернизации, ускоренного и инновационного развития строительной отрасли Республики Узбекистан на 2021–2025 годы», в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития “Новый Узбекистан” на 2022–2026 годы», в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-158 от 11 сентября 2023 года «О стратегии “Узбекистан — 2030”», а также в других нормативно-правовых актах, регулирующих данную сферу деятельности.

Соответствие научных исследований приоритетным направлениям развития науки и техники республики. Настоящие исследования выполнены в рамках II приоритетного направления развития науки и технологий республики «Энергетика, энерго- и ресурсоэффективность».

Уровень изученности проблемы. Проблема разработки эффективных фибробетонных композитов для монолитного строительства в последние годы находится в центре внимания научного сообщества. На международном уровне проведено множество исследований, направленных на изучение влияния различных типов дисперсных волокон на механические свойства фибробетона. Значительные результаты в данной области были достигнуты такими исследователями, как Баженовым Ю.М., Бакером С., Батсоном Г.Б., Бочарниковым А.С., Волковым Ю.В., Гулимовой Ю.В., Джозефом Л.Л., Кренчелом Х., Ланкардом Д., Ли В.С., Лимом Й.М., МакГарри Ф.Дж., Малишевым В.Ф., Манделом Дж.А., Некрасовым В.П., Нааманом А.Э., Пухаренко Ю.В., Рабиновичем Ф.Н., Ранганом В.Б., Романовой В.П., Ромуальди Дж.П., Свами Р.Н., Ставридесом Х., Шахом С.П., Уикли Р.Д., Эзериджем Х. и другими.

Достижения в разработке технологии монолитного бетона связаны с работами многих выдающихся ученых и инженеров, среди которых: Абрамова Л.И., Алексеева К.В., Ахвердова И.Н., Баженова Ю.М., Бессера Я.Р., Вавилова

М.В., Гершановича Г.Л., Гершберга О.А., Гордона С.С., Горохова В.В., Десова А.Е., Дорфа Б.А., Зинченко Н.А., Крылова Б.А., Малинского Е.Н., Медведева В.М., Миронова С.А., Миклашевского Е.П., Осипова А.Д., Петрова Г.Д., Сикранова А.Н., Сизова Б.В., Совалова Г., Судакова В.Б., Тиллеса Р.С., Топчия В.Д., Шестоперова С.В., Штаермана Ю.Я., Шкарина В.П. и других.

Среди отечественных ученых, внесших значительный вклад в исследования бетона и его разновидностей, можно отметить Акрамова Х.А., Аскарлова Б.А., Ашрабова А.А., Газиева У.А., Камилова Х.Х., Мирахмедова М.М., Махаматалиева И.М., Одилходжаева А.И., Косимова Э.У., Самигова Н.А., Тахирова М.К., Тешабоева Р.Д., Тулаганова А.А., Туропова М.Т., Ходжаева С.А., Хасанова Б.Б., тогда как в области исследований фибробетонов на основе металлических и базальтовых волокон значительных научных и практических результатов в разные годы достигли Мухамедбаев А.А., Юлчиев Р.А., Раззоков С.Дж. и другие.

Несмотря на значительный прогресс в исследовании фибробетонов, задачи оптимизации их состава, в том числе выбор оптимального типа волокон, их количественного состава и механических свойств, до конца не решены. Показано также, что вопросы долговечности и физико-механических свойств таких материалов в определенных климатических и эксплуатационных условиях изучены недостаточно и требуют дополнительных исследований.

Связь диссертационного исследования с научно-исследовательскими планами высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация: Диссертационная работа выполнена в рамках проекта П-722209824 «Создание технологии производства фибробетона на основе базальта, металла и стекла, соответствующего стандартам и обладающего высокими физико-механическими свойствами» (2023-2024 гг.) Ташкентского архитектурно-строительного университета.

Цель исследования: Целью является оптимизация состава и свойств эффективного фибробетона для монолитного строительства.

Задачи исследования:

выбор и обоснование местного сырья для получения дисперсно-армированного фибробетона;

исследование влияния базальтовых и полипропиленовых волокон, суперпластификатора на физико-механические свойства бетона;

определение оптимальных параметров фибробетона с учетом количественного состава и геометрических размеров армирующих волокон;

разработка технологии приготовления фибробетонных смесей на основе различных волокон;

апробация и определение экономической эффективности составов фибробетона, используемых для монолитного строительства.

Объектом исследования является фибробетон, армированный базальтовыми и полипропиленовыми волокнами с добавлением суперпластификатора.

Предметом исследования являются физико-механические, физико-химические и технико-экономические параметры фибробетона, армированные с базальтовыми и полипропиленовыми волокнами.

Методы исследования. В ходе исследований использовались современные методы физико-химического, рентгенофазового и электронно-микроскопического анализа структурообразования, стандартизированные методики исследования показателей качества и свойств фибробетонных, полученных на основе базальтовых и полипропиленовых волокон, а также математические методы оптимизации состава фибробетонной смеси и методы статистической обработки результатов экспериментов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана математическая модель, отражающая зависимость прочности фибробетона на изгиб и сжатие от длины и количества волокон;

с целью улучшения физико-механических свойств фибробетона разработаны технологические схемы приготовления бетонных смесей с различной последовательностью введения компонентов, что позволило добиться равномерного распределения волокон по всему объему бетонной матрицы;

установлено, что в процессе взаимодействия волокон с бетонной матрицей, а также под воздействием щелочной среды, формирующейся в ходе гидратации цемента, происходит разрушение базальтовых волокон, при этом степень их коррозионного повреждения в 2М NaOH растворе значительно выше, чем в насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

доказано, что комплексное применение армирующих волокон и суперпластификаторов привело к существенному повышению физико-механических свойств фибробетона, а также обеспечило сохранение его реологических характеристик в течение длительного времени.

Практические результаты исследования:

доказана возможность разработки эффективного фибробетона для монолитного строительства, соответствующего нормативным требованиям, за счет применения суперпластификатора и армирующих волокон.;

оптимизированы технологические параметры приготовления фибробетона, обеспечено равномерное распределение армирующих волокон в бетонной матрице и однородность смеси за счет выбора последовательности введения компонентов и методов диспергирования волокон;

изучены закономерности влияния длины, диаметра, объемного содержания волокон и суперпластификатора на механические свойства фибробетона, определены параметры, обеспечивающие максимальную прочность бетона;

разработана оптимизационная модель, основанная на корреляционно-регрессионном анализе, описывающая взаимосвязь между свойствами и составом фибробетона, а также позволяющая минимизировать расход вяжущих компонентов.

Достоверность результатов исследования Достоверность результатов исследования обоснована использованием современных инструментальных

методов и стандартных методик испытаний, проведением экспериментов в соответствии со строительными нормами и правилами, взаимной согласованностью экспериментальных и теоретических данных, а также успешной апробацией разработанных решений в практическом строительстве.

Научно-практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обусловлена изучением взаимодействия армирующих волокон с цементной матрицей, влиянием их геометрических параметров и объемного содержания на физико-механические свойства фибробетона, а также влиянием условий твердения на его физико-технические характеристики, качественные показатели и долговечность.

Практическая значимость исследования заключается в обоснованном выборе составов бетонов и технологических процессов их приготовления для применения в монолитном строительстве зданий и сооружений, что позволяет значительно повысить прочность, трещиностойкость и долговечность конструкций, а также снизить производственные затраты. Оптимизация процессов диспергирования волокон и использование эффективных модифицирующих добавок обеспечивают возможность широкого внедрения разработанных решений в строительную практику, повышая надежность конструкций. Кроме того, применение местного сырья, суперпластификаторов и волокон способствует разработке эффективных составов фибробетона, адаптированных к региональным условиям.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных научных результатов разработан и внедрен состав фибробетона на основе портландцемента, дробленого камня, песка, базальтовых и полипропиленовых волокон, а также суперпластификатора. Технология его производства была апробирована и внедрена в ООО “DSK BINOKOR” (акт от 15 августа 2024 г.), что подтверждено справкой Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан (№ 24-06/10693 от 23 октября 2024 г.). В результате прочность фибробетона на сжатие увеличена с 38,8–39,8 МПа до 50,49–57,48 МПа, подвижность смеси повышена с P1 до P5, водопотребность снижена на 25–30%, а также ускорен процесс транспортировки бетонных смесей по трубопроводам.

Разработанная и внедренная компьютерная программа «Расчет и моделирование состава тяжелого фибробетона для монолитного строительства» была апробирована в Государственном учреждении “Komunal LIT” (акт от 18 марта 2024 г.), что также подтверждено справкой Министерства строительства и ЖКХ Республики Узбекистан (№ 24-06/10693 от 23 октября 2024 г.). Внедрение программы позволило снизить водопотребность фибробетона на 25%, повысить прочность на сжатие и достичь 27–38% экономической эффективности по сравнению с традиционным бетоном.

Оптимальный состав фибробетона на основе портландцемента, дробленого камня, песка, базальтовых и полипропиленовых волокон, а также суперпластификатора прошел лабораторные испытания и был внедрен в ATL “STROYTEST SERVICE” ООО (акт от 13 августа 2024 г.) и ATL “SINOV

SERTIFIKAT SERVIS” OOO (акт от 3 августа 2024 г.). В результате улучшены показатели прочности фибробетона, а также увеличена подвижность бетонной смеси с П1 до П5.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на 6 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 21 научных работ, в том числе 7 статей в научных изданиях, рекомендованных к публикации Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан по основным научным результатам диссертаций на соискание ученой степени доктора философии (PhD): 4 из них опубликованы в республиканских и 3 в зарубежных журналах. Кроме того, получен сертификат на программное обеспечения для расчета (№ ДГУ 27940 от 09.10.2023).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 115 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введение диссертации обоснована актуальность и необходимость диссертационного исследования, которая соответствует приоритетным направлениям развития науки и техники в республике, представлены цели и задачи, объект и предмет исследования, выражена научная новизна исследования и научно-практическая значимость полученных результатов, подчеркнута применимость результатов исследования к производству, приведены сведения об апробации результатов исследования и опубликованных научных статьях по теме диссертации, а также сведения о структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Современное состояние и перспективы научных исследований в области фибробетона для монолитного строительства»** подробно рассматриваются современное состояние и перспективы применения фибробетона в строительстве. Анализ научной литературы показал, что армирование бетонных матриц металлическими, базальтовыми, стеклянными и полимерными волокнами существенно улучшает их физико-механические свойства, в том числе прочность, трещиностойкость и устойчивость к внешним воздействиям.

Особое внимание уделено проблеме равномерного распределения волокон по всему объему смеси, что является основным фактором достижения высоких эксплуатационных свойств материала. Было установлено, что путем адаптации существующего оборудования и совершенствования методов смешивания бетона можно добиться равномерного распределения волокон, особенно базальтовых.

Ведущие отечественные и зарубежные учёные, включая Джозефа Л.Л., Наамана А.Э., Энн Арбора, Ромуальди Дж.П., Батсона Г.Б., Манделя Дж.А.,

Уикли Р.Д., Этериджа Х., Ланкарда Д., Кренхеля Х., Шаха С.П., Рангана В.Б., МакГарри Ф.Дж., Сваами Р.Н., Ставридеса Х., Некрасова В.П., Баженова Ю.М., Бочарникова А.С., Волкова Ю.В., Пухаренко Ю.В., Гулимову Ю.В., Рабиновича Ф.Н., Романова В.П., Малишева В.Ф., Ван Ю., Беккера С., Ли В.С., Лима Ю.М., Ву Х.С., Мухамедбаева А.А., Юлчиева Р.А., Раззакова С.Дж. и других, заложили основу для дальнейших исследований, направленных на оптимизацию технологии производства и состава фибробетона с учётом климатических и эксплуатационных требований.

Таким образом, анализ, представленный в первой главе, подчеркивает важность армирующих волокон для повышения прочности, трещиностойкости и долговечности бетона. На основании выводов главы определены рабочая гипотеза, цели и задачи исследования.

Рабочая гипотеза. Продление срока службы и повышение эффективности фибробетона могут быть достигнуты за счёт оптимизации его состава и разработки рациональных технологических режимов приготовления, что снижает агрессивное воздействие щелочной среды бетона на базальтовое волокно и улучшает физико-механические свойства материала.

Во второй главе диссертации под названием «**Свойства используемых материалов и методы исследования**» представлены свойства используемых материалов и описаны методы исследования. При проведении экспериментальных исследований использовался цемент класса ЦЕМ I 42,5Н производства АО «Ахангаранцемент» и АО «Бекабадцемент». В качестве мелкого заполнителя использовался песок карьера реки Чирчик с модулем крупности $M_{кр}=3,29$, а в качестве крупного заполнителя – щебень на гравийной основе фракциями 5-10 мм и 10-20 мм, классом дробления M1200, соответствующим требованиям ГОСТ 8267-97. В экспериментальной части работы в качестве добавок для повышения пластичности фибробетонной смеси использовались суперпластификаторы на основе поликарбоксилатов Sika ViscoCrete – SF18 и на основе поликарбоксилатов и лигносульфатов Mixfor FlowCrete 49/2.



Рисунок 1. Полноразмерное и увеличенное в СЭМ ($\times 100$) изображение волокон: а) полипропиленовое волокно; б) базальтовое волокно.

В качестве армирующих волокон использовано базальтовое волокно, полученное из базальтовой породы месторождения Фориш в Джизакской области. Средний диаметр волокон составляет 17 мкм, длина волокон 6-18 мм,

предел прочности при растяжении 1350 МПа, термостойкость 600 °С, а полипропиленовые волокна производства ООО «Фибромикс» имеют средний диаметр 20 мкм, длину волокон 6-18 мм, предел прочности при растяжении 550 МПа, термостойкость 160 °С (рисунок 1).

Исследование свойств фибробетона проводилось с использованием современных методов микроструктурного анализа, в том числе высокоразрешающей сканирующей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа для определения кристаллической структуры. Физико-механические свойства фибробетона, такие как прочность при сжатии и изгибе, исследовались на стандартных образцах в соответствии с требованиями ГОСТ 10180.

В составе фибробетона особое внимание уделялось равномерному распределению волокон, что оценивалось посредством отбора и анализа образцов, а затем их высушивания. Для определения морозостойкости, водонепроницаемости и стойкости к истиранию бетона были проведены испытания, обеспечивающие всестороннее изучение его эксплуатационных характеристик. Подвижность фибробетонных смесей и их водоудерживающая способность исследовались с применением стандартных методов, что позволило охарактеризовать их технологические показатели.

В третьей главе диссертации имеющей название **«Разработка технологии приготовления фибробетонных смесей для монолитного строительства и определение коррозионной стойкости базальтового волокна»** представлены технологии приготовления фибробетонных смесей на основе работ в области приготовления фибробетонов.

Экспериментально установлено, что стандартные методы смешивания не обеспечивают равномерного распределения волокон, приводят к агломерации и снижению прочностных показателей. В исследовании использовался турбулентный и роторный смеситель. Турбулентный смеситель обеспечивал эффективное диспергирование волокон, но увеличивал риск их повреждения, тогда как роторный смеситель демонстрировал возможность легкого смешивания при относительно низкой равномерности диспергирования. Рассмотрены четыре схемы загрузки материалов с различной последовательностью ввода компонентов и режимами смешивания (таблица 1).

Первая схема: первоначально в смеситель для сухого смешивания загружали заполнитель и цемент, затем добавляли воду с суперпластификатором и продолжали смешивание. Базальтовые волокна вводили постепенно, добиваясь их равномерного распределения.

Вторая схема: все сухие компоненты – заполнитель, цемент и базальтовые волокна – загружались одновременно и смешивались в сухом виде. Затем добавляли воду с пластификатором и процесс продолжали.

Третья схема: сначала в сухую смесь добавляли заполнители и волокна, далее цемент, затем вводили воду с пластификатором и перемешивали смесь.

Четвертая схема: волокна предварительно распределяли в порции воды с суперпластификатором, добиваясь их равномерного распределения. Затем в

смеситель добавляли цемент и песок для сухого смешивания, после чего добавляли смесь волокон и воды и перемешивали в течение трех минут.

Исследование проводилось на мелкозернистом и тяжелом бетоне, с добавлением и без добавления фибробетона, содержащем 5% фибры по отношению к массе цемента.

Таблица 1

Этапы приготовления фибробетона по принятым схемам

№ схемы	Этапы				Общий
1	Компоненты	Ц+П	Вода+Д	ФВ	
	Время смешивания	30 сек.	60сек	90сек	3,0 мин.
2	Компоненты	П+Ц+ФВ	Вода	Д	
	Время смешивания	60сек	60сек	30сек	2,3 мин.
3	Компоненты	П+ФВ	Ц	Вода+Д	
	Время смешивания	30 сек.	30сек	90сек	2,3 мин.
4	Компоненты	Вода+Д+ФВ	Ц+П	ВодаДФВ	
	Время смешивания	60сек	30сек	90сек	3,0 мин.

Здесь: Ц-цемент; П-песок; Д-добавка; ФВ-фиброволокно.

В соответствии с положениями ВСН 56-97 степень равномерности распределения армирующих волокон в бетонной смеси рассчитывалась по количественному значению коэффициента вариации (U) от 10% до 15%. Значения этого параметра свидетельствовали о достаточной однородности смеси и стабильности пространственного распределения волокон в бетонной матрице.

Установлено, что распределение базальтовых волокон в объеме бетонной матрицы меняется в зависимости от принятой схемы смешивания и состава смеси. Однако критерии однородности, определяемые по значению коэффициента вариации (U), в исследованных составах не превышали 15%, что соответствовало нормативным требованиям и свидетельствовало о достаточной равномерности распределения дисперсных армирующих волокон (рисунки 2 и 3).

При исследовании свойств фибробетона была выбрана третья схема смешивания (U-8,0%), которая обеспечила более высокий уровень равномерности распределения фибры по объему смеси по сравнению с первой и четвертой схемами (U-13,0-13,8%). Применение третьей схемы смешивания во втором составе способствовало диспергированию пучков базальтовых волокон на отдельные волокна, тогда как первый состав после завершения процесса смешивания сохранил частичную агрегацию волокон наряду с диспергированием волокон (рисунок 4).

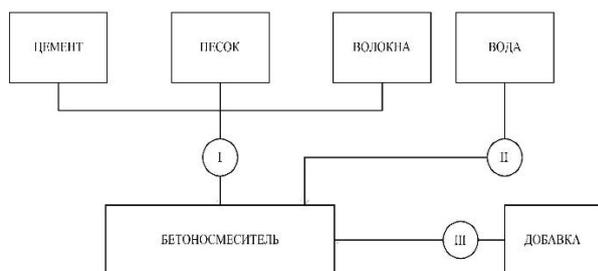


Рисунок 2. Блок-схема этапов приготовления фибробетона по схеме 2

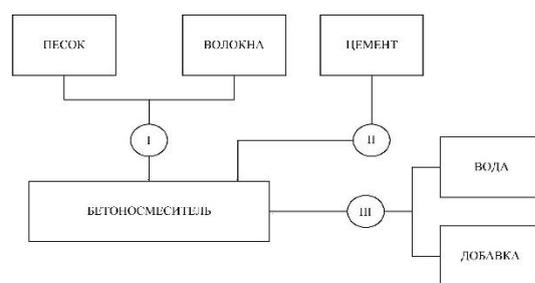
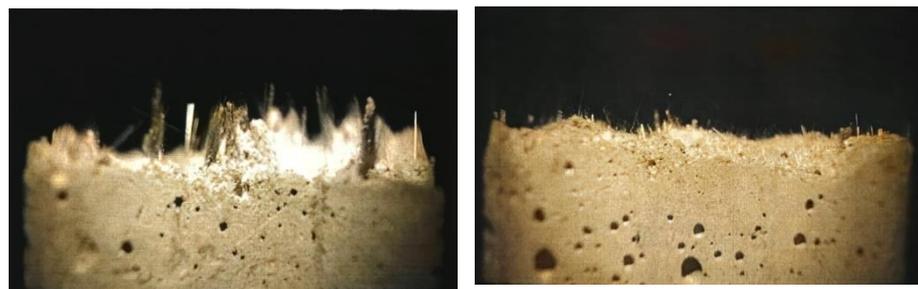


Рисунок 3. Блок-схема этапов приготовления фибробетона по схеме 3



а

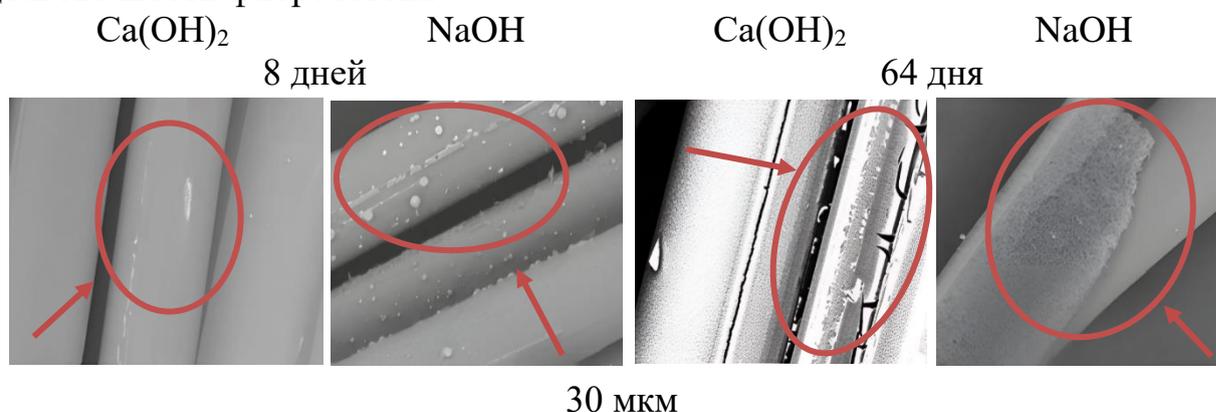
б

Рисунок 4. Распределения базальтового волокна:

а) Состав 1; б) Состав 2

Для изучения щелочной среды, возникающей при гидратации цемента, использовались насыщенные растворы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (pH 12,4) и 2М NaOH (pH 13,6). Воздействие раствора NaOH привело к серьезной деградации базальтовых волокон с эрозией поверхностных слоев и образованием сферических коррозионных частиц, обнаруженных с помощью СЭМ (рисунок 5). Масса волокон за 64 дня уменьшилась на 0,39 г, тогда как потери в растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ составили 0,27 г, что свидетельствует о низкой агрессивности среды.

Использование соотношения массы волокна к объему раствора 1:100 обеспечило стабильные параметры окружающей среды за счет минимизации изменений pH. Полученные результаты показали, что скорость коррозии базальтовых волокон напрямую зависит от концентрации и химической активности окружающей среды, что следует учитывать при прогнозировании долговечности фибробетона.



30 мкм

Рисунок 5. Внешний вид базальтового волокна после обработки в растворе гидроксида кальция и гидроксида натрия

В четвертой главе диссертации формулируемая как «**Моделирование и оптимизация состава фибробетона для его эффективного применения в монолитном строительстве**» представлены результаты экспериментальных исследований по оптимизации составов мелкозернистых и тяжелых фибробетонов, дисперсно армированных базальтовыми и полипропиленовыми волокнами, с целью повышения их физико-механических, физико-технологических свойств и эффективности дисперсного армирования. В ходе исследования было изучено влияние оптимального количества, типа добавки, длины волокна (базальтовое и полипропиленовое волокно 6, 12 и 18 мм), а также объемного содержания на физико-механические свойства бетона.

Сравнительный анализ эффективности различных суперпластификаторов показал, что наибольшую эффективность продемонстрировали «Sika SF18» и «Mixfor FlowCrete 49/2», оптимальные количества которых составили 0,8% и 1% по отношению к массе цемента соответственно, что показало диаметр растекания мини-конуса 220 мм и 221 мм. Полученные результаты подтвердили эффективность и действенность данных суперпластификаторов в улучшении технологических свойств фибробетона, а также обеспечении необходимой удобоукладываемости бетонных смесей.

Рентгеноструктурный анализ цемента марки ЦЕМ I 42.5Н показал наличие характерных фаз клинкера, включая пики алита (C_3S) при 3,02 Å и 2,77 Å, белита (C_2S) при 2,74 Å и пики продукта гидратации портландита ($Ca(OH)_2$) при 4,90 Å и 1,79 Å, а также пики этtringита при 9,66 Å и 3,56 Å. В 7-дневном образце с добавкой Mixfor FlowCrete 49/2 наблюдалось образование пиков гидрата силиката кальция (CSH) при 3,01 Å и 3,29 Å, а также пиков портландита при 2,61 Å и 4,84 Å, что свидетельствует о частичном завершении реакций гидратации. В 28-суточных образцах наблюдалось увеличение пиков CSH (3,00 Å и 3,20 Å) и портландита (2,61 Å), тогда как интенсивность пиков алита и белита существенно снизилась, что свидетельствует о развитии гидратации и формировании более устойчивой структуры бетона.

В 28-суточных образцах с добавкой Sika SF18 наблюдалось явное увеличение CSH (3,22 Å и 3,92 Å) и увеличение количества портландита (4,88 Å), что свидетельствует об улучшении гидратации и физико-механических свойств под влиянием суперпластификатора. Таким образом, применение добавок Mixfor и Sika эффективно активизировало процессы гидратации, ускорило образование гидратов силиката кальция и улучшило такие свойства бетона, как прочность (рисунок 6).

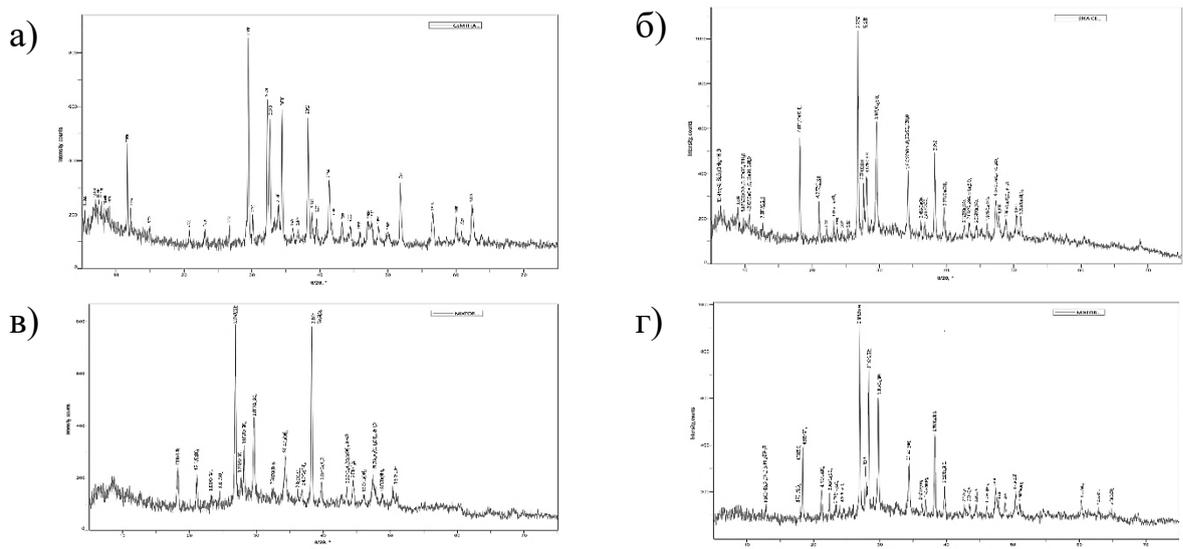


Рисунок 6. Рентгеновская дифрактограмма образцов без добавок и с добавками:

- а) цемент ЦЕМ I 42,5Н; б) 28-дневные образцы с добавлением Sika SF18; в) 7-дневные образцы с добавлением Mixfor FlowCrete 49/2; г) 28-дневный Mixfor FlowCrete 49/2 с добавленными образцами.

При комплексной оценке влияния фибры на бетонную матрицу были изучены составы мелкозернистого и тяжелого фибробетона с базальтовыми и полипропиленовыми волокнами длиной 12 мм, вводимыми в объемном содержании 2%. Базой для сравнительного анализа послужили контрольные составы без волокон. Контрольный состав для мелкозернистого фибробетона включал 420 кг цемента, 1165 кг песка и 472 кг щебня (фракция 5-10 мм). В составах, содержащих суперпластификаторы (Sika SF18 и Mixfor FlowCrete 49/2) и волокна, водоцементное отношение снизилось до 0,45-0,47, плотность достигла 2407 кг/м³, а прочность на сжатие составила 52,0 МПа, что на 35% выше, чем у контрольного состава. Для тяжелого бетона базальтовые волокна длиной 12 мм (6,83 кг/м³) обеспечили плотность 2488 кг/м³ и прочность на сжатие 52,2 МПа, что на 10% выше контрольного состава, а прочность на изгиб увеличилась на 6,8 МПа.

Для статистического анализа результатов экспериментов использовался метод двухфакторной корреляционной регрессии (рисунок 7).

Уравнение регрессии для прочности на изгиб ($Y_{изг}$) образцов фибробетона:

$$Y_{изг} = 6,80 + 1,12x_1 + 0,08x_2 - 0,05x_1^2 - 0,03x_2^2 + 0,02x_1x_2$$

Уравнение регрессии для прочности на сжатие ($Y_{сж}$) образцов фибробетона:

$$Y_{сж} = 50,60 + 0,60x_1 + 0,40x_2 - 0,15x_1^2 - 0,10x_2^2 + 0,05x_1x_2$$

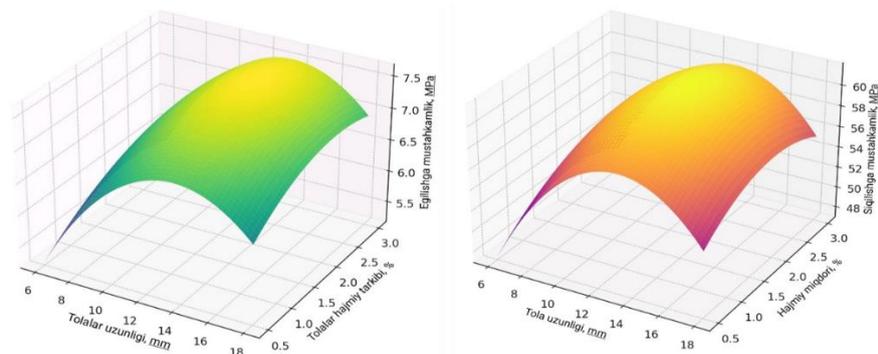


Рисунок 7. Зависимость прочности фибробетона на сжатие и изгиб в возрасте 28 суток от переменных факторов:
 а) прочность на изгиб; б) прочность на сжатие

Оптимальная длина волокна позволила эффективно использовать его в составах для монолитного строительства. Результаты исследования подтвердили существенное влияние длины базальтового волокна на прочностные свойства композита. Оптимальная длина повысила механические свойства и обеспечила максимальную адгезию к матрице.

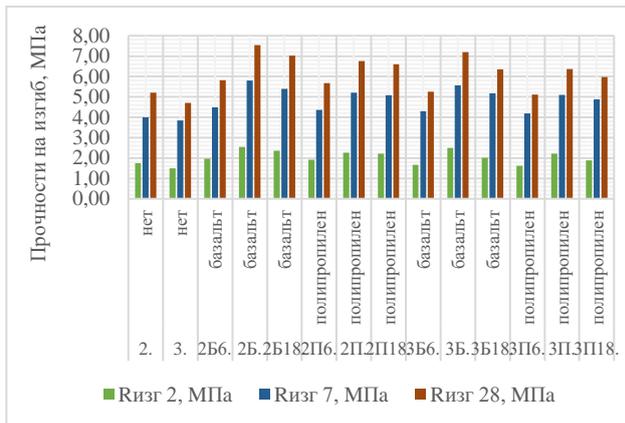


Рисунок 8. Диаграмма изменения прочности на изгиб мелкозернистого фибробетона в зависимости от длины волокна

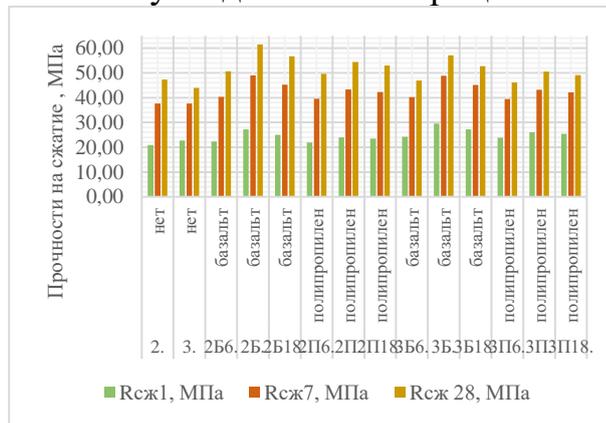


Рисунок 9. Диаграмма изменения прочности на сжатие мелкозернистого фибробетона в зависимости от длины волокна

Анализ экспериментальных данных показал, что включение базальтовой фибры оказало существенное влияние на механизмы разрушения фибробетона. В процессе армирования наблюдалось замедленное разрушение, обусловленное механизмом пластической деформации, в отличие от одновременного хрупкого разрушения контрольных образцов.

Оптимальная длина волокна (12 мм) обеспечила наилучший баланс прочностных свойств и равномерное распределение в матрице. Волокна длиной 6 мм не могут эффективно остановить развитие трещин, а при длине 18 мм наблюдается увеличение объемной доли, агломерация, что ухудшает механические свойства (рисунки 8 и 9).

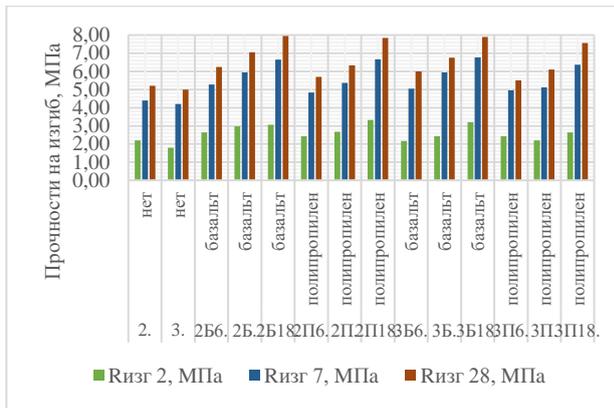


Рисунок 10. Диаграмма изменения прочности на изгиб тяжелого фибробетона в зависимости от длины волокна

Для тяжелого фибробетона был обнаружен переход, аналогичный хрупко-пластическому разрушению. Оптимальная длина волокна составила 12 и 18 мм, что обеспечило равномерное распределение, снижение трещинообразования и повышение прочностных показателей. Волокна длиной 6 мм оказались неэффективными из-за их ограниченного армирующего эффекта (рисунки 10 и 11).



Рисунок 11. Диаграмма изменения прочности на сжатие тяжелого фибробетона в зависимости от длины волокна

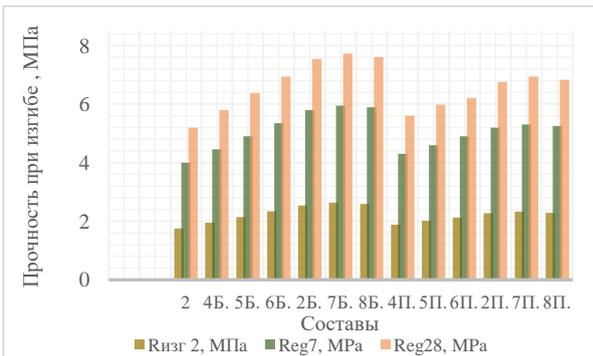


Рисунок 12. Влияние содержания базальтового волокна на прочность при изгибе мелкозернистого фибробетона

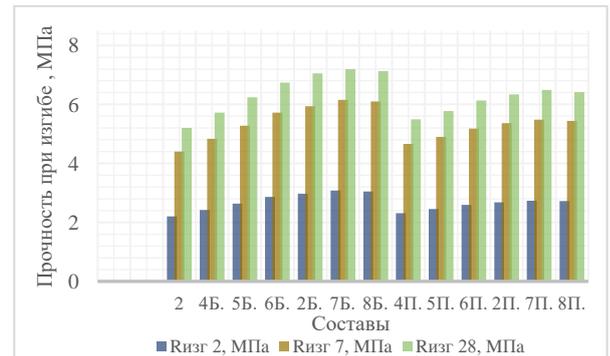


Рисунок 13. Влияние содержания базальтового волокна на прочность при изгибе тяжелого фибробетона

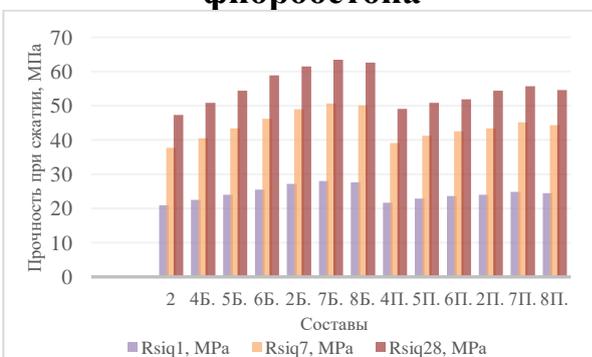


Рисунок 14. Влияние содержания базальтового волокна на прочность при сжатии мелкозернистого фибробетона

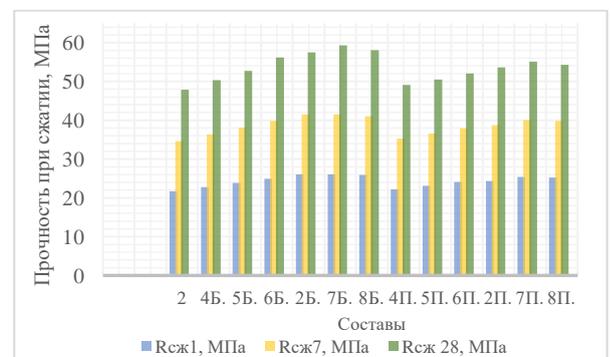


Рисунок 15. Влияние содержания базальтового волокна на прочность при сжатии тяжелого фибробетона

Оптимальный диапазон содержания волокон — 1,5-2,0% — обеспечил существенное повышение прочностных показателей при сохранении технологических свойств смесей. Однако базальтовые волокна показали лучший эффект по прочности по сравнению с полипропиленовыми волокнами (рисунки 12 и 15).

Для мелкозернистого бетона добавление 2,0% базальтовых волокон увеличило прочность на изгиб на 33% и прочность на сжатие на 10%, тогда как полипропиленовые волокна того же состава обеспечили увеличение на 30% и 9% соответственно. Аналогичная тенденция наблюдалась и в тяжелом бетоне: базальтовые волокна увеличили прочность на изгиб на 30% и прочность на сжатие на 9%, тогда как полипропиленовые волокна увеличили ее на 25% и 8% соответственно. Эти данные подтвердили, что базальтовые волокна более эффективны для создания относительно армирующей структуры, особенно в мелкозернистом бетоне. Изучены физико-механические свойства фибробетона при оптимальных параметрах дисперсного армирования и рациональных режимах приготовления (таблицы 2 и 3).

Таблица 2

Расход материала на 1м³ мелкозернистого фибробетона

Составы	Цемент (кг)	Песок (кг)		Добавка (кг)	Количество волокон (кг)	В/Ц
		<5мм	5-10			
2Б.	377	1150	606	3.02	7.55	0,46
6Б.	376	1155	606	2.96	5.55	0,46
2П.	377	1150	606	3.02	7.55	0,46
6П.	376	1155	606	2.96	5.55	0,46

Таблица 3

Расход материала на 1м³ тяжелого фибробетона

Соста вы	Цемент (кг)	Песок, (кг)	Щебень (кг)	Добавка (кг)	Количество волокон (кг)	В/Ц
2Б.	341	779	1162	2.68	6.83	0,46
6Б.	341	779	1168	2.68	5.02	0,46
2П.	341	779	1168	2.68	6.83	0,46
6П.	341	779	1174	2.68	5.02	0,46

Полученные результаты показали влияние состава на деформации усадки и потерю массы за счет потери влаги. Контрольный состав (без волокон) показал среднюю деформацию при усадки $1,378 \times 10^{-4}$ мм и потерю веса - 16,77 г через 120 дней, что отражает сильную потерю влаги.

Базальтовые волокна значительно уменьшили деформацию при усадке. Содержание волокон 1,5% снизило деформацию до $1,134 \times 10^{-4}$ мм (на 17,7% меньше, чем в контрольном образце), а вес до -15,95 г, тогда как содержание волокон 2% показало снижение усадки до $1,096 \times 10^{-4}$ мм (ниже, чем в контрольном образце 20,5%) и потерю веса до -15,46 г (рисунок 16).

Исследования эксплуатационных свойств фибробетона показали, что введение фибры значительно повышает его водостойкость, морозостойкость и стойкость к истиранию. Водостойкость образцов без волокон соответствовала классам W6-W8, тогда как добавление волокон повышало этот показатель до W10-W14 за счет плотности структуры цементного камня и улучшения сцепления волокон.

Морозостойкость материала исследовалась по ГОСТ10060-2012. Оптимальное содержание волокон (до 3%) обеспечивает морозостойкость, минимизируя потери массы и прочности после циклического замораживания. Контрольный состав был ограничен маркой F200 из-за чрезмерного прироста массы (2,95%) и потери прочности (более 10%).

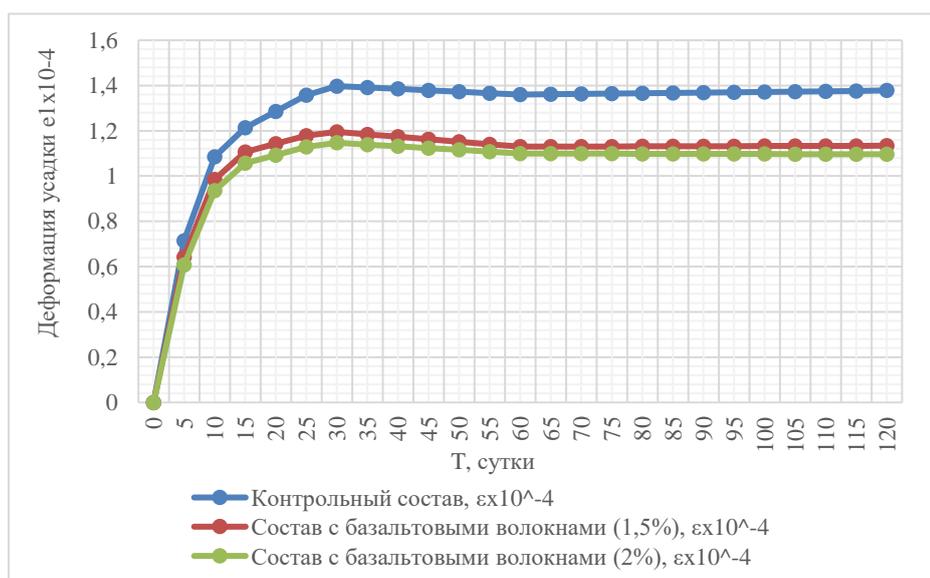


Рисунок 16. Кривые роста относительных деформаций усадки

Испытания сопротивления трению фибробетонной конструкции с 2% базальтовой фибры подтвердили снижение трения на 10% по сравнению с контрольными образцами за счет увеличения плотности и повысили ее класс сопротивления трению с G2 до G1. Таким образом, включение базальтовой фибры в состав бетона в пределах 1,5-2% обеспечило оптимальное сочетание водонепроницаемости, морозостойкости и стойкости к механическому истиранию.

Экономическая целесообразность применения фибробетона заключается в снижении эксплуатационных расходов на 27–32% и увеличении срока службы конструкций на 25 лет подтверждено.

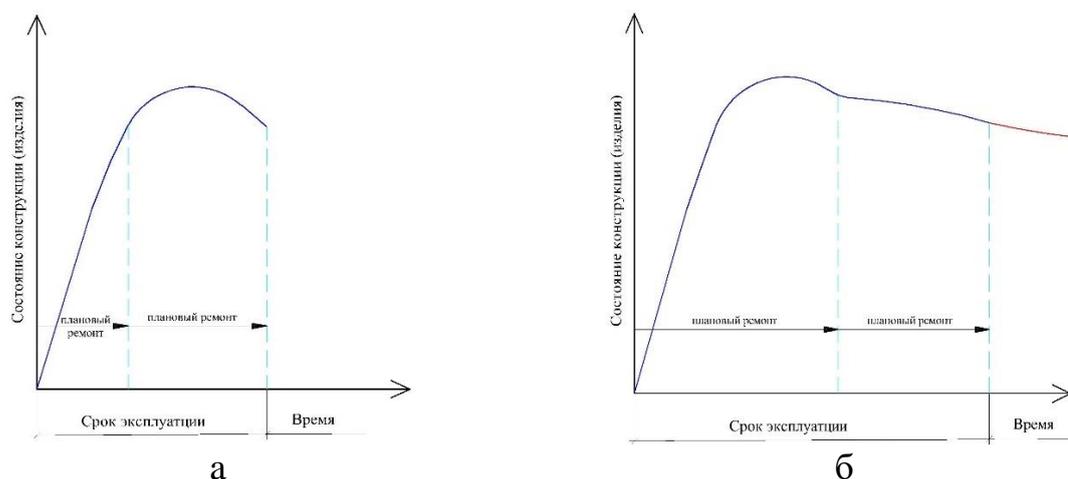


Рисунок 17. Соотношение между долговечностью обычного бетона и фибробетона: а) обычный бетон; б) фибробетон

Несмотря на то, что первоначальные затраты увеличились на 15–20% (за 1 м^3), теоретически было рассчитано, что затраты на ремонт и обслуживание снизятся с 70% от первоначальных затрат до 30–40%. Повышенная прочность и трещиностойкость позволили сократить затраты на рабочую силу, повысить рентабельность и снизить общую стоимость владения объектом (рисунок 17).

ВЫВОДЫ

По результатам экспериментально-теоретических исследований, проведенных по докторской диссертации на тему «Разработка эффективных составов фибробетона для монолитного строительства», сделаны следующие общие выводы:

1. В результате исследований разработаны и испытаны структурные схемы технологии приготовления высокоэффективной фибробетонной смеси. Применение турбулентных и роторных смесителей оказало положительное влияние на качество материала за счет достижения равномерного распределения волокон в бетонной матрице. Оптимизация последовательности загрузки материалов и продолжительности каждого этапа позволила минимизировать деградацию волокон и обеспечить получение однородной бетонной смеси. Согласно схеме 3, коэффициент вариации содержания волокон в составе составил менее 10%, что свидетельствует о высоком уровне распределения волокон в матрице.

2. В ходе экспериментов в щелочных растворах было обнаружено, что базальтовые волокна значительно сильнее корродируют в 2М растворе NaOH, чем в насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Через 64 дня эксперимента масса волокон в растворе NaOH уменьшилась с 2,00 г до 1,91 г, что соответствовало потере 3,5% от исходной массы, тогда как потеря под воздействием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ составила всего 2%.

3. Разработан оптимальный состав мелкозернистого и тяжелого фибробетона с добавлением базальтовых волокон длиной 12 мм и соотношением 1,5–2,0% к массе вяжущего. Данные составы, при сохранении

высоких технологических свойств смеси, повысили прочностные показатели, в том числе прочность на сжатие до 15% и прочность на изгиб до 35%.

4. Изучено влияние длины волокна на физико-механические свойства фибробетона. Установлено, что базальтовые волокна длиной 12 мм обеспечивают оптимальное распределение напряжений в цементной матрице и существенно повышают прочность, тогда как более длинные волокна (18 мм) приводят к снижению подвижности смеси из-за агломерации, а короткие волокна (6 мм) оказывают минимальное влияние на прочностные показатели.

5. Предложен способ использования базальтовых волокон для снижения усадочных деформаций и потери влаги бетоном. Экспериментально установлено, что добавление фибры снижает усадочные деформации (осадку) на 17-20% и потери влаги на 7-10% за счет стабилизации микроструктуры цементного камня.

6. Изучено влияние содержания фибры на механические свойства бетона. Оказалось, что оптимальное количество базальтовых волокон в пределах 1,5-2,0% от массы вяжущего обеспечивало наибольший прирост прочности на изгиб и сжатие, тогда как превышение этого предела приводило к ухудшению реологических свойств смеси.

7. Базальтовый фибробетон отличается высокими физико-механическими свойствами, такими как водонепроницаемость, морозостойкость, стойкость к истиранию, по сравнению с контрольными составами.

8. Разработаны оптимальные составы фибробетонов и определена экономическая эффективность их применения. Анализ затрат показал, что увеличение срока службы конструкций снизило и эксплуатационные расходы на 27–32% по сравнению с обычным бетоном, что подтверждает потенциал материала для использования в долговечных конструкциях.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSC.26/30.12.2019.T.11.01 FOR AWARDING
ACADEMIC DEGREES AT TASHKENT UNIVERSITY OF
ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING**

**TASHKENT UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND CIVIL
ENGINEERING**

OBIDJONOV JAHONGIR TOXIR UGLI

**DEVELOPMENT OF EFFECTIVE FORMULATIONS OF FIBER
CONCRETE FOR MONOLITHIC CONSTRUCTION**

05.09.05–Construction materials and products

DISSERTATION ABSTRACT

of the doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

Tashkent -2025

The theme of doctor of philosophy dissertation is registered by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science, and Innovations of the Republic of Uzbekistan B2022.4.PhD/T3401

The dissertation was conducted at the Tashkent University of Architecture and Civil Engineering.

The abstract of the dissertation is available in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Academic Council at (www.taqu.uz) and on the Information and Educational portal "Ziyonet" (www.zionet.uz).

Scientific advisor:	Raximov Shavkat Turdimurotovich PhD of Technical Sciences, Associate Professor
Official opponents:	Bakhodirov Azizbek Abdulazizovich, Doctor of Technical Sciences, Professor Majidov Samariddin Rashid ugli, PhD of Technical Sciences, Associate Professor
Leading organization:	Fergana State Technical University

The defense of the dissertation will take place on "6" may 2025 at 10⁰⁰ at the Scientific Council numbered DSc.26/30.12.2019.T.11.01 meeting at Tashkent University of Architecture and Civil Engineering at the following address: 100084, Tashkent, Yunusobod region, Yangishahar street, 9a. Tel.: (+99855) 508-02-95; faks: (+99855) 508-03-12, e-mail: devon@taqu.edu.uz.

The dissertation is registered in Information-Resource Center at T Tashkent University of Architecture and Civil Engineering (registration number №142). The text of the dissertation is available at the Information-Resource Center at the following address: 100084, Tashkent, Yunusobod region, Yangishahar street, 9a. Tel.: (+99855) 508-02-95; faks: (+99855) 508-03-12, e-mail: taqi_atm@edu.uz.

The abstract of the dissertation is distributed on "16" april 2025 year.
(Register record №52 "4" February 2025 year).

X.A. Akramov
Chairman of the Scientific Council for awarding
scientific degrees, Doctor of technical Sciences, Professor

I.I. Siddikov
Scientific secretary of the Scientific
Council for the award of doctoral degrees
Doctor of technical Sciences, Professor

B.A. Askarov
Chairman of scientific seminar at the Scientific Council for
awarding academic degrees,
Doctor of technical Sciences, Professor

Introduction (annotation of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD))

The relevance and necessity of the topic of dissertation. With the development of the global construction industry, particular attention is being paid to the efficient use of resource-saving technologies in the production of construction materials and various types of concrete that possess high mechanical strength, crack resistance, and durability. At present, in developed countries, "...the production of energy-efficient construction materials is increasing by 30% annually, with concrete accounting for 70% of this production. By 2030, it is expected that more than 43% of the total volume of concrete production will be fiber-reinforced concrete (FRC)"¹. In this regard, special attention is being given to the development and widespread application of fiber-reinforced concrete in construction, as these materials meet operational requirements in the context of urbanization, climate change, and increased seismic activity. These concretes are characterized by environmental safety, energy efficiency, and economic feasibility.

Scientific research is being conducted worldwide to optimize the composition of fiber-reinforced concretes using local raw materials, chemical additives, and reinforcing fibers, improve their physical and mechanical properties, and systematically control the structure formation process in concrete mixtures. Within this area, priority is given to studies on developing optimal compositions of fiber-reinforced concrete for monolithic construction, investigating its physical and mechanical characteristics, increasing its durability and long-term stability, and improving production technologies. Additionally, critical tasks include selecting and substantiating the use of local raw materials for fiber-reinforced concrete production, evaluating the influence of chemical additives on its physical and mechanical properties, and determining the optimal parameters of fiber-reinforced concrete considering the volumetric content and geometric dimensions of reinforcing fibers.

In our republic, large-scale measures are being implemented in the construction materials industry to further deepen economic reforms, improve and develop production, and ensure the comprehensive and rational utilization of local raw material resources. The "New Uzbekistan" Development Strategy for 2022–2026 outlines objectives that include "...the adoption of new types of construction industry products, including modern materials, the implementation of investment projects aimed at expanding the range of construction products, reducing energy and resource consumption in the economy, and the widespread introduction of energy-saving technologies in production..."². Achieving these goals requires the extensive use of various types of concrete in construction, the utilization of local raw materials to develop fiber-reinforced concrete with specified properties, and the advancement of production technologies.

This dissertation research contributes to the implementation of tasks outlined in Presidential Decree of the Republic of Uzbekistan No. PD-4335 dated May 23, 2019, "On Additional Measures for the Accelerated Development of the

¹ <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/fiber-reinforced-concrete-frc-market>

² Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PO-60 dated January 28, 2022, "On the Development Strategy of New Uzbekistan for 2022–2026."

Construction Materials Industry," Presidential Decree No. PD-139 dated February 21, 2022, "On Additional Measures to Support Housing Construction and the Construction Materials Industry," Presidential Decree No. DP-404 dated December 25, 2023, "On Measures for the Development of Social and Industrial Infrastructure of the Republic of Uzbekistan for 2024–2026," Presidential Decree No. PO-161 dated April 17, 2024, "On Measures to Improve the Seismic Resistance of Buildings and Structures," Presidential Order No. PO-5963 dated March 13, 2020, "On Additional Measures for Deepening Reforms in the Construction Sector," Presidential Order No. PO-6119 dated November 27, 2020, "On the Approval of the Strategy for the Modernization, Accelerated, and Innovative Development of the Construction Sector of the Republic of Uzbekistan for 2021–2025," Presidential Order No. PO-60 dated January 28, 2022, "On the Strategy for the Development of 'New Uzbekistan' for 2022–2026," Presidential Order No. PO-158 dated September 11, 2023, "On the Strategy 'Uzbekistan – 2030'," as well as other regulatory and legal acts governing this field.

Correspondence of scientific research to the priority areas of the development of science and technology of the republic. These studies were carried out as part of the II priority direction of the development of science and technologies of the Republic "Energy, Energy and Resource Efficiency".

The level of knowledge of the problem. The problem of developing effective fiber concrete composites for monolithic construction in recent years is in the focus of the scientific community. At the international level, many studies have been conducted aimed at studying the influence of various types of dispersed fibers on the mechanical properties of fiber concrete. Significant results in this area were achieved by such researchers as Bazhenov Yu.M., Backer S., Batson G.B., Bocharnikov A.S., Volkovov Yu.V., Gulimova Yu.V., Joseph L.L., Krenchel H., Lancard D., Li V.S., Lim Y.M., McAharry F.J., Malishev. V.F., Mandelia J.A., Nekrasov V.P., Naaman A.E., Purkharenko Yu.V., Rabinovich F.N., Ranganova V.B., Romanova V.P., Romualdi J.P., Swami R.N., Stavrides H., Shakhu S.P., WIKLY R.S., Ezerijah H. and others.

Achievements in the development of monolithic concrete technology are associated with the works of many prominent scientists and engineers, among whom: Abramov L.I., Alekseev K.V., Axverdov I.N., Bajenov Yu.M., Besser Ya.R., Vavilov M.V., Gershanovich G.L., Gershberg O.A., Gordon S.S., Goroxov V.V., Desov A.E., Dorf B.A., Zinchenko N.A., Krilov B.A., Malinskiy E.N., Medvedev V.M., Mironov S.A., Miklashevskiy E.P., Osipov A.D., Petrov G.D., Sikranov A.N., Sizov B.V., Sovalov G., Sudakov V.B., Tilles R.S., Topchia V.D., Shestoperov S.V., Shtaerman Yu.Ya., Shkarin V.P. and others.

Among the domestic scientists who have made a significant contribution to the study of concrete and its varieties, one can note Akramov Kh.A., Askarov B.A., Ashrabov A.A., Gaziev U.A., Kamilov Kh.H., Mirakhmedov M.M., Makhmataliev I.M., Odilkhodjaev A.I., Kosimov E.U., Samigov N.A., Takhirov M.K., Teshaboev R.D., Tulaganov A.A., Turopov M.T., Khodjaev S.A., Khasanov B.B., while in the field of research of fiberus and basalt fibers of significant scientific and practical

results in different years, they reached Mukhamedbaev A.A., Yulchiev R.A., Razzokov S.G. and others.

Despite significant progress in the study of fiber concrete, the tasks of optimizing their composition, including the choice of the optimal type of fibers, their quantitative composition and mechanical properties, have not been completely resolved. It is also shown that issues of durability and physical and mechanical properties of such materials in certain climatic and operational conditions have not been studied sufficiently and require additional research.

The relationship of the dissertation research with the research plans of the higher educational institution in which the dissertation is performed: The dissertation work was carried out as part of the IL-722209824 project “Creation of technology for the production of fiber concrete based on basalt, metal and glass that meets the standards and has high physical and mechanical properties” (2023-2024) of the Tashkent architectural and construction university.

Purpose of the study: The goal is to optimize the composition and properties of effective fiber concrete for monolithic construction.

Research tasks:

the choice and justification of local raw materials for obtaining dispersed-reinforced fiber concrete;

study of the influence of basalt and polypropylene fibers, superplasticizer on the physico-mechanical properties of concrete;

determination of the optimal parameters of fiber concrete, taking into account the quantitative composition and geometric sizes of reinforcing fibers;

development of technology for the preparation of fiber concrete mixtures based on various fibers;

testing and determining the economic efficiency of fiber concrete compositions used for monolithic construction.

The object of study is fiber concrete reinforced with basalt and polypropylene fibers with the addition of superplasticizer.

The subject of research is the physical, mechanical, physicochemical and technical and economic parameters of fiber concrete reinforced with basalt and polypropylene fibers.

Research methods. In the course of studies, modern methods of physico-chemical, X-ray and electron-microscopic structure of structural formation were used, standardized methods for studying the quality indicators and properties of fiber concrete, obtained on the basis of basalt and polypropylene fibers, as well as mathematical methods for optimizing the composition of the fiber mixture and methods of statistical processing of experimental results.

The scientific novelty of the study is:

a mathematical model has been developed that describes the dependence of the strength of fiber-reinforced concrete under compression and bending on the length and volumetric content of reinforcing fibers;

in order to improve the physicomachanical properties of fiber-reinforced concrete, technological schemes for preparing concrete mixtures with different sequences of component introduction have been developed, which allowed for the

optimization of the process and ensured the uniform distribution of fibers throughout the concrete matrix, preventing their agglomeration and segregation;

it has been established that during the interaction of fibers with the concrete matrix and under the influence of the alkaline environment formed during the hydration of cement, the basalt fibers undergo destruction, with the degree of their corrosion damage in a 2M NaOH solution being significantly higher than in a saturated $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution;

the complex application of reinforcing fibers and superplasticizers has led to a significant improvement in the physicomaterial properties of fiber-reinforced concrete and ensured the preservation of its rheological characteristics over an extended period of time.

Practical results of the study:

The possibility of developing effective fiber concrete for monolithic construction, which meets regulatory requirements, is proven through the use of superplasticizer and reinforcing fibers.;

The technological parameters of the preparation of fiber concrete were optimized, the uniform distribution of reinforcing fibers in the concrete matrix and the homogeneity of the mixture were ensured by choosing a sequence of introduction of components and methods of dispersing fibers;

The patterns of the influence of the length, diameter, volume content of fibers and superplasticizer on the mechanical properties of fiber concrete have been studied, parameters are determined that provide maximum concrete strength;

An optimization model was developed, based on a correlation and regression analysis, describing the relationship between the properties and the composition of fiber concrete, as well as allowing minimizing the consumption of astringent components.

The reliability of the results of the study is the reliability of the research results is justified by the use of modern instrumental methods and standard testing methods, conducting experiments in accordance with building norms and rules, the mutual consistency of experimental and theoretical data, as well as the successful testing of developed solutions in practical construction.

Scientific and practical significance of research results.

The scientific significance of the results of the study is due to the study of the interaction of reinforcing fibers with a cement matrix, the influence of their geometric parameters and volumetric content on the physico-mechanical properties of fiber concrete, as well as the influence of hardening conditions on its physical and technical characteristics, qualitative indicators and durability.

The practical significance of the study lies in the reasonable choice of concrete compositions and technological processes for their preparation for the use of buildings and structures in monolithic construction, which can significantly increase the strength, fracture resistance and durability of structures, as well as reduce production costs. Optimization of the processes of dispersion of fibers and the use of effective modifying additives provide the possibility of a wide implementation of the developed solutions into construction practice, increasing the reliability of structures. In addition, the use of local raw materials, superplasticizers and fibers

contributes to the development of effective formulations of fiber concrete adapted to regional conditions.

Implementation of research results. On the basis of the obtained scientific results, the composition of fiber concrete based on Portland cement, crushed stone, sand, basalt and polypropylene fibers, as well as superplasticizers, was developed and introduced. The technology of its production was tested and introduced into LLC “DSK Binokor” (act of August 15, 2024), which was confirmed by a certificate from the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan (No. 24-06/10693 of October 23, 2024). As a result, the strength of fiber concrete for compression is increased from 38.8–39.8 MPa to 50.49–57.48 MPa, the mobility of the mixture is increased from P1 to P5, the water consumption is reduced by 25-30%, and the process of transporting concrete mixtures through pipelines has been accelerated.

The developed and implemented computer program “Calculation and modeling of the composition of heavy fiber concrete for monolithic construction” was tested in the state institution “Kommunal Liti” (Act of March 18, 2024), which was also confirmed by the certificate of the Ministry of Construction and Housing and Public Utilities of the Republic of Uzbekistan (No. 24-06/10693 of October 23, 2024). The implementation of the program made it possible to reduce the water consumption of fiber concrete by 25%, increase compression strength and achieve 27–38% of economic efficiency compared to traditional concrete.

The optimal composition of fiber concrete based on Portland cement, crushed stone, sand, basalt and polypropylene fibers, as well as the superplastic, passed laboratory tests and was introduced in the ATL “Stroytest Service” (Act of August 13, 2024) and ATL “Sinov Sertifikat Servis” (Act from Act from Act from August 3, 2024). As a result, the strength of the strength of fiber concrete are improved, as well as the mobility of the concrete mixture from P1 to P5.

Testing the research results. The main results of the dissertation were discussed at 6 international and 2 republican scientific and practical conferences.

Publication of research results. On the topic of the dissertation, 21 scientific papers were published, including 7 articles in scientific publications recommended for the publication of the Highest Certification Commission of the Republic of Uzbekistan on the main scientific results of dissertations for the scientific degree of Philosophy Doctor (PhD): 4 of them were published in republican and 3 in foreign journals. In addition, a certificate for the calculation software was received (No. DSU 27940 dated 09.10.2023).

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, a list of literature and applications. The volume of the dissertation is 115 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YHATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I-bo'lim (I часть; I part)

1. Obidjonov J.T. Properties of materials used for dispersion-reinforced fiber-reinforced concrete // “Web of Scientist: International Scientific Research Journal (WoS)” 2022, Vol. 3, pp.660-666. (14) ResearchBib. 2022. IF: 8.53.
2. Rakhimov Sh.T., Obidjonov J.T., Babakulova N.B. Development of compositions and analysis of properties of finegrained concrete and fibrobetons // Philosophical Readings, Vol. XIII, 2022, pp.537-544. (3) Scopus. 2022. IF: 0.11.
3. Obidjonov J.T., Raximov Sh.T. The Main Regularities and Processes of the Formation of the Strength Properties of Fibre Concrete Using Different Types of Fibres // Spanish journal of innovation and integrity (SJII) April, 2022, pp.145-151. (14) ResearchBib. 2024. IF: 9.87.
4. Obidjonov J.T., Raximov Sh.T. Analysis of technical literature allowing to determine effective areas of use of metal fibers as dispersed reinforcement // International Journal of Trend in Scientific Research and Development - September, Vol. 7, 2022, pp.147-149. (14) ResearchBib. 2024. IF: 9.98.
5. Obidjonov J.T., Raximov Sh.T. Maxsus qorishmalarda struktura shakillanishini tadqiq etish // Journal of Advanced Research and Stability – 2022, April, Vol. 2, pp.28-32. (14) ResearchBib. 2023. IF: 9.98.
6. Obidjonov J.T., Raximov Sh.T. Improvement of hydrotechnical properties of concrete with the use of ash from thermal power plants and fiber // “Procedia of Theoretical and Applied Sciences” Vol. 4, 2023, pp.7-11. (14) ResearchBib. 2024. IF: 10.24.
7. Rakhimov Sh.T., Obidjonov J.T., Khudoynazarova K.J. Advancements in formulating fine-grained concrete and fibrobetons: composition development and property analysis // The Scientific-Practice Journal of Architecture, Construction and Design” Vol. 19, 2024, pp.257-263. (05.00.00. №4)
8. Obidjonov J.T., Raximov Sh.T. Fiber-reinforced concrete: analysis of structural, mechanical, and operational characteristics for efficient application in construction // Talqin va tadqiqotlar ilmiy-uslubiy jurnali, 2024, pp.43-51. (12) Index Copernicus. 2024. IF: 8.2.

9. Asqarov B.A., Karimov M.U., Xolmirzayev S.T., Obidjonov J.T. Gidrotexnik inshootlar betonlarini samaradorligini tahlil qilish va oshirish natijalari // Yashil iqtisodiyot va taraqqiyot” 2024, № 3-son, 330-333 b., ISSN: 2992-8982 (№566955), Oliy attestatsiya komissiyasi rayosatining 2023-yil 1-apreldagi 336/3-sonli qarori bilan tasdiqlangan.

10. Rakhimov Sh.T., Obidjonov J.T. Optimization of fiber content and binder composition in fiberreinforced concrete for structural application // The Scientific-Practice Journal of Architecture, Construction and Design, Vol. 19, Issue 3, 2024, pp.577-587. (05.00.00. №4)

11. Обиджонов Ж.Т., Рахимов Ш.Т., Бабакулова Н.Б. Анализ синергетических эффектов совместного применения базальтовых и полипропиленовых волокон в матрицах фибробетона // “Me’morchilik va qurilish muammolari” № 3. 2024, b.150-156. (05.00.00. №14)

II-bo’lim (II часть; II part)

1. Obidjonov J.T. Dispers armaturalangan fibrobetonlar uchun tolalar xususiyatlarini tahlil qilish // Namangan muhandislik- qurilish instituti Vazirlik miqiyosida ilmiy-amaliy konferensiya. “Zamonaviy arxitekturada chizma geometriya masalalarini qo’llash muammolari va yechimlari”, 27-28 may, Namangan, 2022-yil., 81-85 bet.

2. Obidjonov J.T., Raximov Sh.T. Benefits of using dispersed-reinforcement in concrete. // Namangan muhandislik- qurilish institute. Xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik konferensiya “Qurilishda innovasiyalar, binolar va inshootlarning seysmik xavfsizligi”, 15-17 dekabr, Namangan, 2022 yil., 573-575 bet.

3. Обиджонов Ж.Т. Основные закономерности и процессы образования структуры фибробетона с использованием фибры различного вида // Ташкентский архитектурно-строительный университет, Международная научно-практическая конференция “Инновационные технологии в строительстве”, 25 мая, Ташкент 2023 г., ст.78-81.

4. Gaziyeu U.A., Raximov, Obidjonov J., O’sarov E., Turovov F.X. Bazalt tolali fibrobetonlarning tarkibi va xossalari // Toshkent arxitektura qurilish universiteti, “Energiya va resurstejamkor zamonaviy qurilish materiallarini ishlab chiqarish istiqbollari” Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman, 20-21 noyabr, Toshkent, 2023-yil, 118-121 bet.

5. Rakhimov Sh.T., Khudoynazarova K.J., Obidjonov J. T., Yeshbaeva F. R. Fine Grain Concrete and Fiber Concrete Based on Industrial Waste // V International Scientific Conference «Construction mechanics, hydraulics and

water resources engineering» (Conmechhydro 2023), December 22-23, Tashkent, 2023.

6. Rakhimov Sh.T., Obidjonov J. T., Khudoynazarova K. J., O'sarov E.O. // M. Auezov South Kazakhstan University Proceeding X International Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE-2023 Volume II, November 18, Shymkent, Kazakhstan 2023, p.255-258.

7. Обиджонов Ж.Т., Рахимов Ш.Т. Анализ современного состояния и перспективы применения дисперсно-армированных бетонов // “Ilm-fan va ta’limda innovatsion yondashuvlar, muammolar, taklif va yechimlar” mavzusidagi 22-sonli respublika ilmiy-onlayn konferensiyasi, 30-mart, 2022-yil, 16-19 bet.

8. Obidjonov J.T., Raximov Sh.T. Comparative analysis of fiber-reinforced concretes with diverse fiber types: a scientific investigation // Jizzax politexnika instituti III-xalqaro Anjuman, “Yangi O’zbekiston: ilm qaldirg’ochlari – 2024”, 18-may, Jizzax 2024-yil, 92-95 bet.

9. Raximov Sh.T., Obidjonov J.T. Mayda donador betonlarning issiqlik ajratish xususiyatini tadqiq etish // O’zbekiston respublikasi qurilish va uy-joy kommunal xo’jaligi vazirligi Kompetensiyani rivojlantirish institute “Qurilish va uy-joy kommunal xo’jaligi sohasida yangicha yondashuvlar respublika ilmiy amaliy Konferensiya, Toshkent, 2024-yil, 158-163 bet.

10. Обиджонов Ж.Т., Рахимов Ш.Т. Анализ технической литературы позволяющий определить эффективные области использования металлических волокон в качестве дисперсной арматуры // Журнал «Архитектура, инженерия и современные технологии». 2022. С.8-12.

11. Obidjonov J.T., Raximov Sh.T. “Monolit qurilish uchun og’ir fibrobeton tarkibini hisoblash va modellashtirish”. O’zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 27940, EHM dasturi uchun mualliflik guvohnomasi. DGU 20236871, talabnoma 09.10.2023, Toshkent.

Avtoreferat «Arxitektura, qurilish va dizayn»
ilmiy-amaliy jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazilib,
o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarining
mosligi tekshirildi (10.04.2025 yil)

Bichimi: 60x84^{1/16}, «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i 3,5. Adadi 100. Buyurtma: №16
“AKTIV PRINT” bosmaxonasida chop etildi.
100194, Toshkent sh., Chilonzor-25, Lutfiy ko'chasi, 1A-uy.