

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc 15/31.08.2022.T.73.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

TOSHEVA DILBAR FARXODOVNA

**KOMPLEKS MODIFIKATSIYALANGAN BOG‘LOVCHI ASOSIDAGI
O‘Z-O‘ZIDAN ZICHLANUVCHI MAYDADONADOR BETON TARKIBINI
ISHLAB CHIQISH**

05.09.05 - Qurilish materiallari va buyumlari

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

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

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on technical
sciences**

Tosheva Dilbar Farxodovna

Kompleks modifikatsiyalangan bog‘lovchi asosidagi o‘z-o‘zidan zichlanuvchi
maydadonador beton tarkibini ishlab chiqish.....3

Тошева Дилбар Фарходовна

Разработка составов самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов с
комплексно-модифицированным вяжущим23

Tosheva Dilbar Farhodovna

Development of self-compacting fine-grained concrete compositions with a
complex-modified binder43

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works47

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc 15/31.08.2022.T.73.04 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

TOSHEVA DILBAR FARXODOVNA

**KOMPLEKS MODIFIKATSIYALANGAN BOG‘LOVCHI ASOSIDAGI
O‘Z-O‘ZIDAN ZICHLANUVCHI MAYDADONADOR BETON TARKIBINI
ISHLAB CHIQISH**

05.09.05 - Qurilish materiallari va buyumlari

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.4.PhD/T6078. raqami bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Buxoro davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-saytida (www.tstu.uz) va «ZiyoNet» Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Adilxodjayev Anvar Ishanovich**
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar: **Hasanov Baxridin Baratovich**
texnika fanlari doktori, professor

Amirov Tursoat Jumayevich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot: **Jizzax politexnika instituti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi DSc.15/31.08.2022.T.73.04 raqamli Ilmiy kengashning 2026 yil "17" yanvar soat 12⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 100167, Toshkent, Temiryo'lhilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz.

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (____-raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100167, Toshkent, Temiryo'lhilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-05-66.

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil "6" yanvar kuni tarqatildi.
(2026 yil "5" yanvardagi 30-raqamli reestr bayonnomasi).

S.S. Shaumarov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi o'rinbosari
t.f.d., professor

U.Z. Shermuxamedov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi,
t.f.d., professor

A.A. Ishanxodjayev
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar
raisi, t.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda qurilish sanoatini rivojlantirishning yangi bosqichi konstruksion materiallarga yuqori talablar qo‘ymoqda, bu esa ularning xossalarini doimiy ravishda takomillashtirishning eng muhim masalalaridan hisoblanadi. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda, qurilish sohasida o‘z-o‘zidan zichlanuvchi maydadonador betonlarni innovatsion yechimlar sifatida qo‘llash orqali amalga oshirilmoqda. Shu jihatdan, sementli beton muqobili yo‘q yuqori samarali material sifatida qo‘llash jarayonlari hamda kompleks modifikatsiyalangan bog‘lovchi asosidagi o‘z-o‘zidan zichlanuvchi maydadonador beton tarkibini ishlab chiqishga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Jahonda qurilish sanoatida yuqori zichlikka, past kapillyar g‘ovaklikka va yangi gidratlar hosil bo‘lishiga ega bo‘lgan sement toshining tuzilishini maqsadli shakllantirish, beton texnologiyasida maydadonador mineral to‘ldiruvchilari va kimyoviy moddalar qo‘shishga qaratilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, jumladan, ekspluatatsion xossalari yaxshilangan o‘z-o‘zidan zichlanuvchi maydadonador betonlar olishning eng qulay va oddiy usuli kimyoviy modifikatorlar va mineral mikroto‘ldiruvchilar asosidagi kompleks yuqori samarali qo‘shimchalarni ishlab chiqish dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda qurilish sohasini modernizatsiyalash, ishlab chiqarish jarayonlarini texnik va texnologik yangilash, qurilish materiallarini tayyorlashda energiya va resurs sarfini kamaytirishga qaratilgan keng ko‘lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. "Yangi O‘zbekistonni 2022-2026-yillarda rivojlantirish strategiyasi"da "...Yashil iqtisodiyot" texnologiyalarini barcha sohalarga faol joriy yetish orqali 2026-yilga qadar iqtisodiyotning yenergiya samaradorligini 20 foizga oshirish va havoga chiqariladigan zararli gazlar hajmini 20 foizga qisqartirish choralari ko‘rilsin..."¹ bo‘yicha vazifalari belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirish, jumladan, belgilangan xossalarga ega energiyatejamkor va ekologik toza qurilish materiallarini ishlab chiqarish, ularni mahalliy xom ashyolar asosida ishlab chiqarishning mavjud texnologiyalari va energiya samarador yondashuvlarini yaratish hamda kompleks modifikatsiyalangan bog‘lovchi asosidagi o‘z-o‘zidan zichlanuvchi maydadonador beton tarkibini ishlab chiqish bugungi kunning dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 20 fevraldagi PQ-4198-son "Qurilish materiallari sanoatini tubdan takomillashtirish va kompleks rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida"gi, 2019 yil 23 maydagi PQ-4335-sonli "Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida"gi qarorlari hamda 2020 yil 27 noyabrdagi PF-6119-sonli "O‘zbekiston Respublikasi qurilish tarmog‘ini modernizatsiya qilish, jadal va innovatsion rivojlantirishning 2021-2025-yillarga mo‘ljallangan strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida"gi farmonlarida nazarda tutilgan va qurilish sanoati bilan bog‘liq boshqa

¹ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60 son "2022-2026 yillarda yangi O‘zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to‘g‘risida"gi Farmoni.

me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II. "Energetika, energiya va resurstejamkorlik" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Materiallar va energiya sarfini kamaytirib, zaruriy fizik-mexanik xossalar majmuasiga ega bo'lgan sement betonlarini ishlab chiqishda betonni mineral mikroto'ldiruvchilar va kimyoviy qo'shimchalar bilan modifikatsiyalash bo'yicha tadqiqotlar alohida ahamiyat kasb etadi.

Turli xil qo'shimchalar asosidagi ko'p komponentli yuqori sifatli betonlarda qo'llash asoslarini rivojlantirishga taniqli xorijiy olimlar V.I. Solomatov, G.I. Gorchakov, Yu.M. Bajenov, L.I. Dvorkin, P.G. Komoxov, A.V. Voljenskiy, Yu.M. Butt, I.A. Ribyev, B.V. Gusev, E. Freysine, A.A. Afanasev, N.B. Urev, S.M. Mchedlov-Petrosyan, V.G. Batrakov, V.N. Virovov, A.G. Komar, A.S. Panteleev, V.T. Yerofeev, V.I. Kalashnikov, V.I. Kondrashenko, T.I. Petrova, S.V. Shestoporov, A.Ye. Sheykin, A.V. Sheynfeld, P.A. Rebinder, V.G. Batrakov, V.B. Ratinov, A.V. Usherov-Marshak, V.S. Ramachandran, B.R. Falikman, V.M. Kolbasov, S.M. Royak, V.V. Timashev, T.V. Kuznesova, M. Venyua, X. Teylor, M. Regur, M. Kolleparadi, R. Kondo, D. Roy, K. Xattorn, M. Daymon, R. Fere, G. Hintze, F. Loher, T. Thorvaldson, F.J. Hogan, L.U. Spellman, . Walter, H. Uchikawa, Sh. Hanehara, F. Lallard, T.S. Do, A. Durecovic, S. Sarcar, I. Older, V. Yogendran, P. Aitchin, M. Cheurexu, E.G. Deharrard, V. Mechtherine, P.T. Santhosh, M. Schmidt, P. Kleingelhöfer, D. Frank, K. Fridemenn, P. Richard, M. Chentern, P.Y. Blais, C. Danrioc, A.S. Belardi, K.K. Sideris, E. Guneyisi, R. Flatt, R. Lewis, J. Plank, I. Schober, H. Okamura, K. Ozawa, K. Yamada, M. Fenollera, L. Garcia, P. Richard, G. Edward, M. Buil, A. Neville va boshqalar ulkan hissa qo'shganlar.

O'zbekiston Respublikasida turli yillarda ko'p komponentli yuqori sifatli betonlar texnologiyasida mayda dispersli mineral kukunlardan foydalanish sohasida ilmiy tadqiqotlarni A.I. Adilxodjayev, A.A. To'laganov, E.U. Qosimov, M.K. Tohirov, N.A. Samig'ov, B.B. Hasanov, V.M. Soy, I.M. Maxamataliyev, S.S. Shaumarov, X.X. Komilov, K.S. Umarov, A.T. Ilyasov va boshqa olimlar olib borganlar.

O'tkazilgan tadqiqotlarda ko'p komponentli betonlarning maqbul tarkiblarini loyihalash masalalari batafsil yoritilgan, ularning texnologik va fizik-mexanik xossalarining kimyoviy modifikatorlar va mineral mikroto'ldiruvchilarning sement tizimiga ta'sir mexanizmi bilan o'zaro bog'liqligi ochib berilgan.

Biroq, harakatchan o'z-o'zidan zichlanadigan beton qorishmalaridan tayyorlangan materialning talab etilgan fizik-mexanik ko'rsatkichlarini shakllanishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadigan bir qator muhim jihatlar hali yetarlicha o'rganilmagan. Xususan, mineral mikroto'ldirgichlar va superplastifikatorlarning kompozit tuzilishiga, sement va to'ldirgich orasidagi kontakt qatlam qalinligi va

zichligiga, g'ovakli strukturaning shakllanishiga ta'siriga kam e'tibor berilgan bo'lib, bu chuqurroq o'rganishni talab etadi.

Bundan tashqari, ekspluatatsion xossalari yaxshilangan o'z-o'zidan zichlanuvchi maydadonador betonlarning xossalarini shakllanishiga mineral mikroto'ldiruvchi turi va miqdorining ta'siri yetarlicha o'rganilmagan.

Shu munosabat bilan, metallurgiya sanoati hosil bo'luvchi qoliplash chiqindilaridan faol mineral qo'shimcha sifatida foydalanib, betonning samarali tarkiblarini ishlab chiqish bo'yicha keng qamrovli tadqiqotlarni kengaytirish vazifalari alohida dolzarflik kasb etadi.

Dissertasiya tadqiqotining dissertasiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertasiya tadqiqoti Toshkent davlat transport universiteti ilmiy-tadqiqot ishi № ББ-Ф4-04 "Kompozision materiallarning polistrukturali nazariyasi asosida ko'p komponentli yuqori sifatli betonlar tarkibini optimallashtirish va xossalarini bashorat qilish" (2018-2020) mavzusidagi loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi ЦЕМИ42,5H markali portlandsement asosida superplastifikator (SP) va metallurgiya ishlab chiqarishining mexanik faollashtirilgan kuygan qolip chiqindilari (KQCh)dan iborat kompleks modifikator yordamida ekspluatatsion xossalari yaxshilangan o'z-o'zidan zichlanuvchan maydadonador beton tarkiblarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

SP va KQCh asosidagi kompleks modifikator bilan sement toshining tuzilish jarayonini o'rganish;

KQCh va SP qo'shilgan o'z-o'zidan zichlanadigan maydadonador beton qorishmasi tarkibini optimallashtirish;

KQCh va SP qo'llanilgan o'z-o'zidan zichlanadigan maydadonador beton qorishmalari va betonlarni ishlab chiqarishning texnologik omillari hamda fizik-mexanik xossalarini tadqiq etish;

tadqiqot natijalarini texnik-iqtisodiy jihatdan asoslash va ishlab chiqarishga joriy qilish.

Tadqiqotning ob'ekti sifatida kompleks modifikatsiyalangan o'z-o'zidan zichlanuvchi maydadonador betonlar olingan.

Tadqiqotning predmeti sifatida superplastifikator va mexanik faollashtirilgan KQCh qo'llanilgan holda tayyorlangan o'z-o'zidan zichlanuvchi maydadonador betonning fizik-mexanik, fizik-kimyoviy va texnik-iqtisodiy xossalari qabul qilingan.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullaridan, kompleks modifikatsiyalangan beton qorishmasi va betonlarning sifat ko'rsatkichlari va xossalarini o'rganishning standartlashtirilgan usullaridan hamda qorishma tarkibini optimallashtirishning matematik rejalashtirish usullaridan va eksperimentlar natijalarini statistik tahlil qilish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

KQChdan faol mikroto'ldiruvchi sifatida foydalanib, polikarboksilat superplastifikatorining sinergetik ta'sirini hisobga olgan holda, gidratatsiya

jarayonlarini jadallashtirish orqali ЦЕМИ42,5H oddiy portlandsement asosida tarkibi yaxshilangan, tejamkor, o'z-o'zidan zichlanadigan, kompleks modifikatsiyalangan maydadonador betonlarni loyihalash mumkinligi haqidagi ishchi gipoteza tasdiqlangan;

polikarboksilat superplastifikatorning bog'lovchi zarrachalarining bir tekis taqsimlanishiga yordam beradigan va ularning aglomeratsiyasini oldini oladigan sterik ta'siri, shuningdek, mexanik faollashtirilgan KQCh yuzasida faol markazlarning mavjudligi tufayli strukturaviy barqaror yuqori harakatchan tizim ta'minlanishi, natijada strukturaning barqarorligi va reologik hamda mustahkamlik xossalari optimal kombinatsiyasi bilan tavsiflangan o'z-o'zidan zichlanadigan maydadonador beton aralashmasini olish mumkinligi isbotlangan;

mexanik faollashtirilgan KQChni mineral mikroto'ldiruvchi sifatida qo'llash amorf kremnezemning kalsiy gidroksid bilan o'zaro ta'sirini kuchaytirishi, muhitning pussolan faolligini oshirishi va natijada sement toshining tuzilishini zichlashtiradigan hamda mustahkamlaydigan qo'shimcha yangi birikmalar hosil bo'lishi isbotlangan;

SP va KQCh asosidagi kompleks modifikatorni qo'llash qorishmaning suv miqdorini kamaytirish va gidratatsiya jarayonlarini jadallashtirish hisobiga sement toshining umumiy g'ovakligini kamaytirishi, yirik kapillyar g'ovaklar ulushini kamaytirishi, bu esa sement betonining zichligi va uzoqqa chidamliligini oshirishga olib kelishi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

oddiy portlandsement asosida, superplastifikator va KQCh larni qo'llash orqali ekspluatatsion xossalari yaxshilangan o'z-o'zidan zichlanuvchi maydadonador beton qorishmalarining maqbul tarkiblarini olish usuli ishlab chiqilgan;

kompleks qo'shimcha tarkibini tanlash, uni o'z o'zidan zichlanuvchi maydadonador betonlar xossalari ta'sirini baholangan hamda ishlanmaning texnik-iqtisodiy samaradorligi asoslangan;

SP va KQCh asosidagi kompleks modifikatorni qo'llash qorishmaning suv miqdorini kamaytirish va gidratatsiya jarayonlarini jadallashtirish hisobiga sement toshining umumiy g'ovakligini kamaytirishi, yirik kapillyar g'ovaklar ulushini kamaytirishi aniqlangan va monolit va yig'ma temirbeton konstruksiyalarni ishlab chiqarishda joriy etilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi tadqiqotlar fizik-kimyoviy tahlilning zamonaviy usullari va fizik-mexanik sinovlar, eksperimentlarni matematik rejalashtirish vositalari va usullari, eksperiment natijasida olingan xulosalarning nazariy qonuniyatlarga muvofiqligi, shuningdek, ishlab chiqarish sharoitida aprobasiyasidan o'tkazilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati olingan natijalar sement tizimida superplastifikatsiyalovchi qo'shimchalar va dispers mineral mikroto'ldirgichlar ishtirokida sementli o'z-o'zidan zichlanuvchi maydadonador betonlarning struktura hosil qilish jarayoni haqidagi tasavvurlarni ma'lum darajada chuqurlashtiradi, bu esa betonning struktura qilish nazariyasi va amaliyotining texnologiyasi va

xossalarini rivojlantirish uchun muhim ahamiyatga ega.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati mahalliy xom ashyolardan olingan kompleks qo‘shimchalar asosida talab etilgan xossalar majmuasiga ega bo‘lgan o‘z-o‘zidan zichlanuvchi maydadonador betonlarni olish va ularni ishlab chiqarishga joriy etish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Kompleks modifikatsiyalangan bog‘lovchi asosidagi o‘z-o‘zidan zichlanuvchi maydadonador beton tarkibini ishlab chiqish bo‘yicha bajarilgan ilmiy tadqiqotlarning natijalari asosida:

metallurgiya sanoati chiqindilari va polikarboksilat superplastifikator asosida kompleks modifikatsiyalangan betonlarni o‘rganish bo‘yicha olingan ilmiy natijalar "BUNYODKOR TEMIR-BETON INTER SERVIS" MChJda B35 sinfli betondan monolit qurilish konstruksiyalarini ishlab chiqarishda joriy qilingan ("O‘zsanoatqurilishmateriallari" uyushmasining 2025 yil 17 noyabrdagi 02/15-3766-sonli ma‘lumotnomasi). Bunda hajmi 1000 m³ ni tashkil etuvchi beton qorishmasining sinov partiyasi ishlab chiqarilgan. Natijada, orayopma plitalari ishlab chiqarishdan olingan iqtisodiy samara – 119,8 mln so‘mni tashkil qilgan;

strukturasining shakllanish qonuniyatlari asosida sement sarfi 1,25 barobar kamayishi, muzlashga bardoshlilik 1,5 barobar oshishi va suv o‘tkazmasligi ikki sinfga ko‘tarilish metodikasi "BUNYODKOR TEMIR-BETON INTER SERVIS" MChJda B35 sinfli betondan monolit qurilish konstruksiyalarini ishlab chiqarishda joriy qilingan ("O‘zsanoatqurilishmateriallari" uyushmasining 2025 yil 17 noyabrdagi 02/15-3766-sonli ma‘lumotnomasi). Bunda hajmi 500 m³ ni tashkil etuvchi beton qorishmasining sinov partiyasi ishlab chiqarilgan. Natijada, ustun va to‘sinlar ishlab chiqarishdan olingan iqtisodiy samara – 59,9 mln so‘mni tashkil qilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobeiyasi. Dissertasiyaning asosiy natijalari 2 ta xalqaro va 2 ta respublika miqyosidagi ilmiy-texnik va ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinishi. Dissertasiya mavzusi bo‘yicha jami 14 ta ilmiy ish, ulardan 2 tasi xorijiy jurnallarda, 5 tasi O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestasiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan ilmiy jurnallarida chop etilgan. Bundan tashqari, O‘zbekiston Respublikasi intellektual mulk agentligi tomonidan 3 ta ixtiro uchun patent olingan.

Dissertasiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertasiya kirish qismi, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertasiyaning hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTASIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertasiyaning **kirish** qismida dissertasiya tadqiqotlarining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotlarning maqsad va vazifalari, ob‘ekti va predmeti tavsiflangan, O‘zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalar taraqqiyotining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi, tadqiqotlarning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, shuningdek, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy qilinganligi, chop etilgan ilmiy

ishlar va dissertasiyaning tuzilishi va hajmi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Muammoning holati va tadqiqot vazifalari**" deb nomlangan birinchi bobida ko'rib chiqilayotgan mavzu bo'yicha ilmiy tadqiqotlarning tahliliy sharhi keltirilgan.

Adabiyot manbalarini tahlil qilish natijasida ma'lum bo'ldiki, jahon qurilish amaliyotida yuqori ekspluatatsion xossalarga ega bo'lgan o'z-o'zidan zichlanuvchi beton qorishmalari va ular asosidagi betonlar keng rivojlanmoqda. O'z-o'zidan zichlanadigan maydadonador betonlar alohida e'tiborga loyiq bo'lib, ular bir xil tuzilishi, yuqori texnologikligi va mexanik tebranishsiz monolit qurilishda qo'llash imkoniyati bilan ajralib turadi. Bu esa konstruksiyalarning sifati va uzoqqa chidamliligini oshirishga xizmat qiladi.

Bir qator tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, yaxshilangan xossalarga ega bo'lgan o'z-o'zidan zichlanadigan beton aralashmalarini olishning eng samarali usuli kimyoviy qo'shimchalar va mineral komponentlarni o'z ichiga olgan kompleks modifikatorlardan foydalanishdir. Ushbu talablarga betonning zarur fizik-mexanik va ekspluatatsion xossalari majmuasini ta'minlaydigan yangi avlod polikarboksilatli SP lar va mexanik faollashtirilgan KQCh qo'shimchalar mos keladi.

Shu bilan birga, adabiyot ma'lumotlarining tahlili shuni ko'rsatadiki, superplastifikator va mineral to'ldiruvchi asosidagi kompleks qo'shimchanning gidratatsiya jarayonlariga, g'ovak tuzilmaning shakllanishiga va o'z-o'zidan zichlanadigan maydadonador betonlarda sement toshining tuzilishiga ta'siri yetarlicha o'rganilmagan. Bu esa ushbu yo'nalishda keyingi tadqiqotlarning dolzarbligini tasdiqlaydi.

Adabiy manbalarni tahlil qilish va tadqiqot vazifalaridan kelib chiqib, **ishchi gipoteza** shakllantirildi. Mikroto'ldirilgan sement tizimidagi fizik-kimyoviy o'zaro ta'sirlar qonuniyatlari haqidagi zamonaviy tasavvurlarga asoslanib, bir tomondan, KQChni gidratatsiya jarayonlarini tezlashtiruvchi, betonning kerakli tuzilish parametrlarini maqsadli shakllantirishga ko'maklashuvchi, hamda o'z-o'zidan zichlanadigan beton aralashmasining qatlamlarga ajralishini oldini oluvchi faol mineral qo'shimcha sifatida, boshqa tomondan esa, polikarboksilat superplastifikatorining kuchli sinergetik ta'siri tufayli yuqori harakatchan beton aralashmalarini olish imkoniyatlarini hisobga olib, CEMI32,5N markali portlandsement asosida foydalanish xossalari yaxshilangan o'z-o'zidan zichlanadigan kompleks modifikatsiyalangan maydadonador betonning optimal tarkibini ishlab chiqish mumkinligi faraz qilinadi.

Dissertatsiya ishining "**Tadqiqot usullari va qo'llanilgan materiallar**" deb nomlangan ikkinchi bobida kompleks qo'shimcha olish uchun ishlatilgan dastlabki xomashyo komponentlarining xususiyatlari keltirilgan, shuningdek, eksperimental tadqiqotlarni o'tkazishda qo'llanilgan usullar tavsiflangan. Sement kompozitsiyalarini tayyorlash uchun GOST 31108-2020 talablariga muvofiq "Qizilqumsement" MChJ tomonidan ishlab chiqarilgan IJEMI42,5H markali portlandsement ishlatildi. Mineral mikroto'ldiruvchi sifatida "O'zbekiston temir yo'llari" AJ metallurgiya chiqindisi, plastifikatsiyalovchi kimyoviy qo'shimcha sifatida esa polikarboksilat efirlari asosidagi PRO500 superplastifikatori qo'llanildi.

Tadqiqotlar jarayonida fizik-kimyoviy tahlilning zamonaviy usullaridan foydalanildi. KQChni maydalash IIIJM-100 markali laboratoriya sharli tegirmonida amalga oshirildi. Mineral to'ldiruvchining dispersligi ПСХ-11А asbobidan foydalangan holda Kozeni-Karman havo o'tkazuvchanlik usuli bilan nisbiy sirt yuzasi bo'yicha aniqlandi.

Sement xamirining qotish muddati va normal quyugligi Vika asbobida, sement suspenziyalarining reologik xossalari LAMYREOLOGY rotatsion viskozimetrida o'lchandi. Kompleks qo'shimcha bilan modifikatsiyalangan sement tizimlarining g'ovakli tuzilishini o'rganish Thermo Scientific Pascal 240 EVO porozimetri yordamida simobli porometriya usulida olib borildi. Sement kompozitsiyalarining tuzilishi va fazaviy tarkibi rentgen difraktometriyasi usulida tekshirildi.

Bundan tashqari, o'z-o'zidan zichlanadigan maydadonador beton qorishmalarining tarkibini optimallashtirish uchun tajribani rejalashtirish matematik usulidan foydalanildi. Bu esa komponentlarning optimal nisbatlarini aniqlash va betonning asosiy xossalariga ta'sir etuvchi omillarni belgilash imkonini berdi.

Dissertatsiya ishining **"Metallurgiya sanoati chiqindilari va polikarboksilat superplastifikatori asosidagi kompleks qo'shimchaning sement toshi strukturasi va xossalaring shakllanishiga ta'siri"** nomli uchinchi bobi mineral va kimyoviy modifikatorlardan foydalangan holda kompleks sement bog'lovchilarining strukturasi va xossalarini ishlab chiqish hamda optimallashtirishga qaratilgan eksperimental tadqiqotlar natijalariga bag'ishlangan. Unda mineral mikroto'ldiruvchini mexanik faollashtirish jarayonlari ko'rib chiqilgan, sement suspenziyalarining reologik xossalari o'rganilgan va kompleks modifikatsiyalangan sement toshining struktura hosil bo'lishi hamda mustahkamlik ko'rsatkichlarining shakllanish qonuniyatlarini ochib beruvchi fizik-kimyoviy tadqiqotlar natijalari keltirilgan.

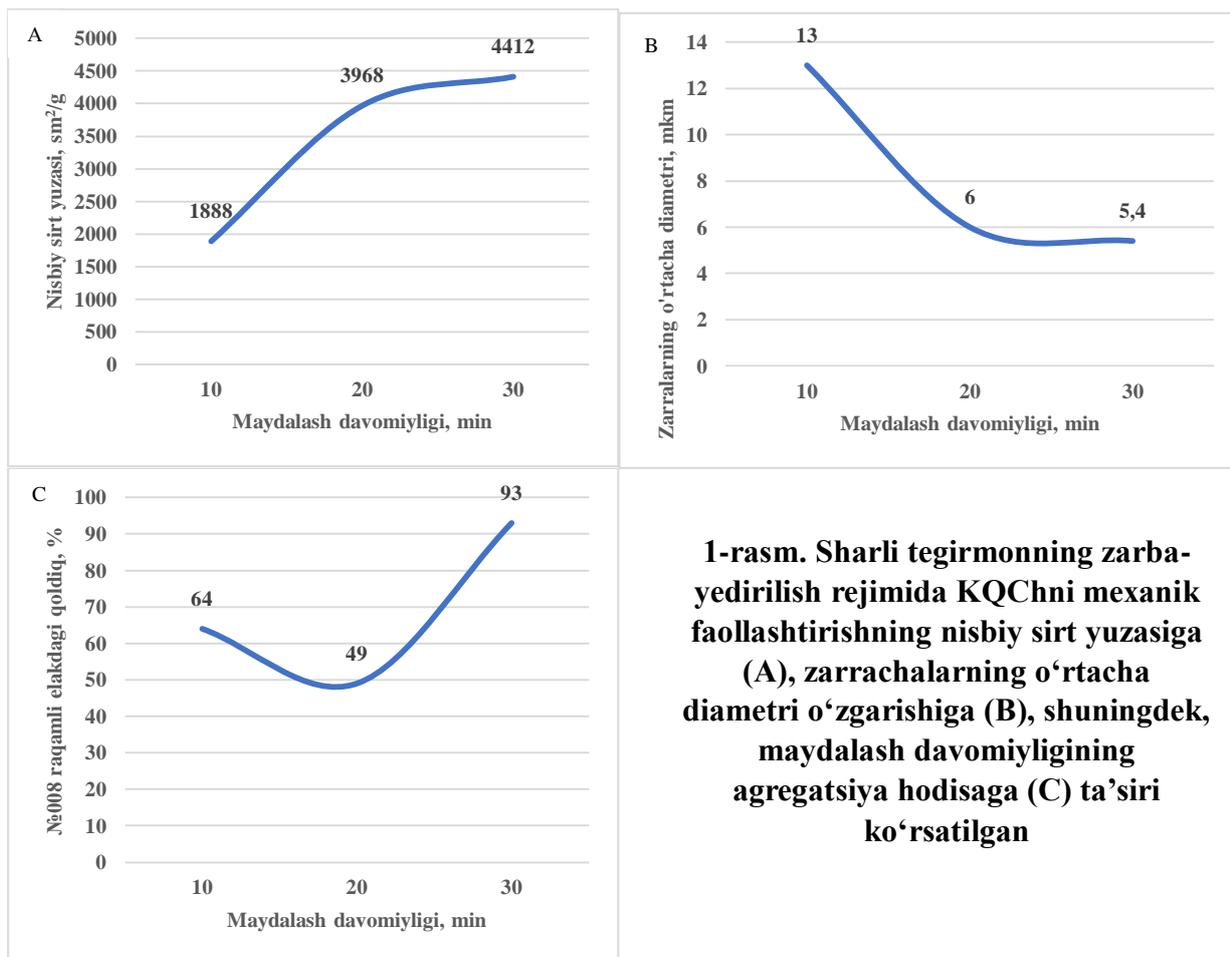
Ma'lumki, turli xil xomashyolarni zarur fizik-mexanik ko'rsatkichlarga ega bo'lgan texnik mahsulotlarga aylantirishning asosiy texnologik jarayonlaridan biri qattiq moddalarni sezilarli darajada o'zgartirishni ta'minlaydigan mexanik faollashtirish jarayonidir. Disperslash jarayoni natijasida nafaqat materialning granulometrik tarkibi o'zgaradi, balki faol markazlar sonining ko'payishi, zarrachalarning shakli va relyefining ortishi, nisbiy sirt yuzasining oshishi va kristall strukturaning amorf strukturaga o'tishi uchun sharoitlar yaratiladi. Yuqoridagilarni inobatga olgan holda, ushbu bobda KQChni mexanik faollashtirish bo'yicha tadqiqot natijalari keltirilgan.

Tajribalardan olingan KQChni maydalash natijalari 1-rasmda aks ettirilgan.

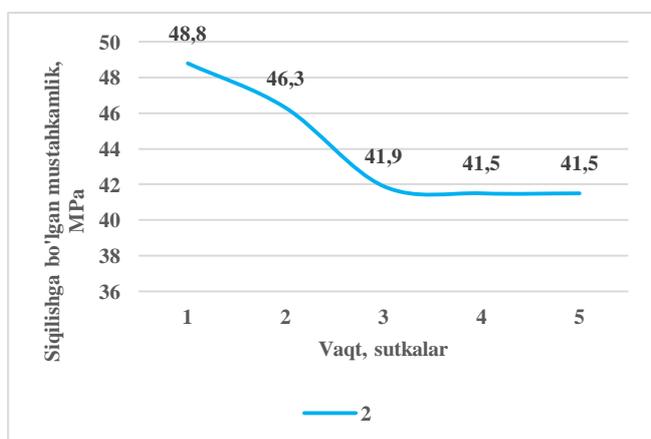
Eksperimental tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, mexanik faollashtirish KQChning nisbiy sirt maydonini sezilarli darajada oshirishga olib keladi. Bu ko'rsatkich 30 daqiqalik maydalashda 4412 sm²/g ga yetadi va materialning reaksiya qobiliyati oshganligidan dalolat beradi. Zarrachalarning o'rtacha o'lchami 13 mikrometrdan 5,4 mikrometrgacha kamayadi, bu esa dispersgatsiya samaradorligini tasdiqlaydi. Elak tahlili 008-raqamli elakdagi qoldiqning 64 foizdan 49 foizgacha kamayganini ko'rsatdi. Biroq, 30 daqiqadan ortiq maydalanganda zarrachalarning aglomeratsiyasi tufayli bu ko'rsatkich 93 foizgacha keskin oshdi. Bu esa

maydalashni davom ettirishning maqsadga muvofiq emasligini ko'rsatadi, chunki agregatlarning hosil bo'lishi faollashtirish samaradorligini pasaytiradi va sement toshining xossalari yomonlashtirishi mumkin.

Yangi disperslangan mineral to'ldiruvchilarni saqlash jarayonida havoda mavjud suv molekularining yuzaga adsorbsiyalanishi natijasida ularning sirt faolligi pasayadi. Namlik ta'sirida sirtida protonlar va gidroksil guruhlar paydo bo'lib, faol markazlar bilan vodorod bog'lamlarini hosil qiladi, bu esa ularning reaksiyaga kirishish qobiliyatini kamaytiradi. Ushbu qonuniyatlarni inobatga olgan holda, mikroto'ldiruvchining saqlanish muddatining sement toshining mustahkamlik xossalari ta'siri eksperimental tarzda o'rganildi (2-rasm).

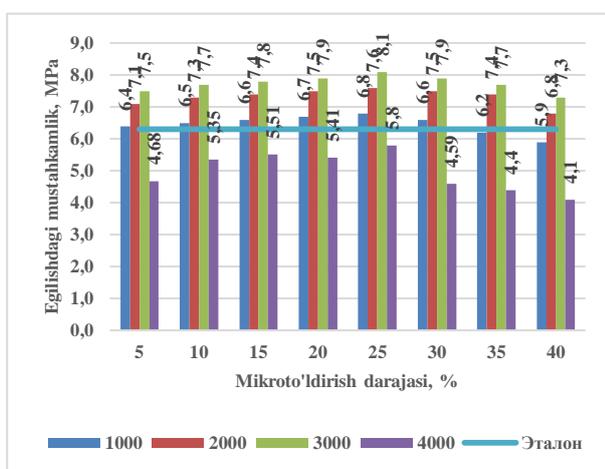


1-rasm. Sharli tegirmonning zarba-yedirilish rejimida KQChni mexanik faollashtirishning nisbiy sirt yuzasiga (A), zarrachalarning o'rtacha diametri o'zgarishiga (B), shuningdek, maydalash davomiyligining agregatsiya hodisaga (C) ta'siri ko'rsatilgan

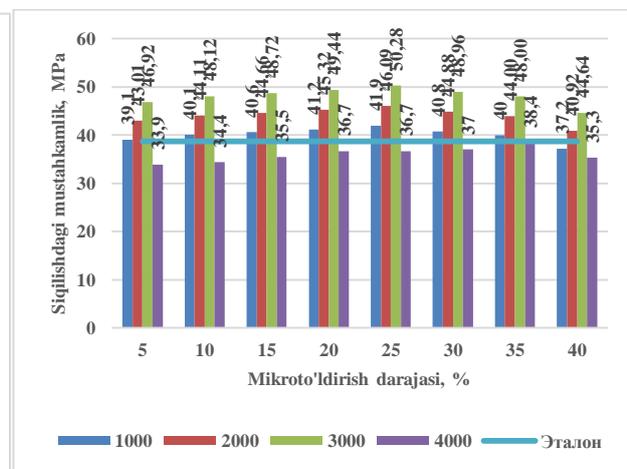


2-rasm. Maydalashdan keyingi vaqt davomida namlik adsorbsiyasi tufayli mikroto'ldiruvchi faolligining pasayishi

Zamonaviy tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, mineral materiallarning dispersligi ortishi bilan ularning reaksiya qobiliyatini belgilaydigan Brensted faol markazlarining konsentratsiyasi ham ortib boradi. Biroq, nisbiy sirtning muayyan qiymatiga erishilgandan so'ng, keyingi maydalash faollikning sezilarli darajada o'sishiga olib kelmaydi va energiya sarfi samarasiz bo'lib qoladi. Mikroto'ldirgichning optimal parametrlarini aniqlash maqsadida uning nisbiy sirtini 1000 dan 4000 sm²/g gacha va tarkibini 5 dan 40% gacha o'zgartirib tajribalar o'tkazildi. Sement toshining mustahkamlik xossalarini tahlil qilish natijasida optimal disperslik sohasi va to'ldirish darajasi mavjudligi, shuningdek, yuqori mustahkamlik ko'rsatkichlari hamda mineral qo'shimchalardan foydalanish samaradorligi aniqlandi (3 va 4-rasmlar).



3-rasm. KQCh ning nisbiy sirt yuzasi va mikroto'ldirish darajasining maydodonador betonning egilishdagi mustahkamligiga ta'siri



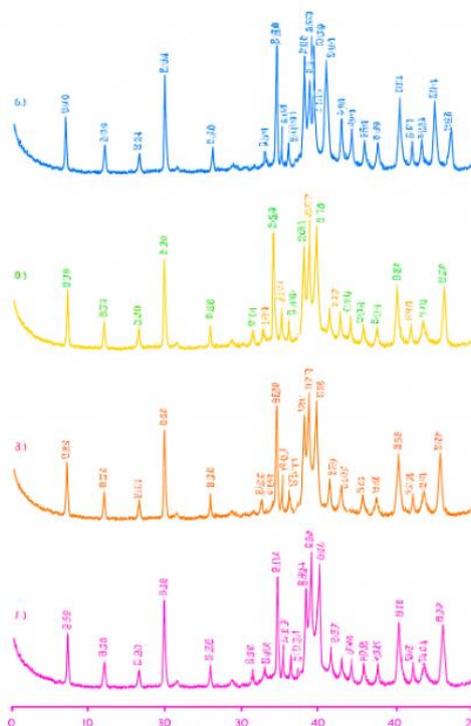
4-rasm. KQCh ning nisbiy sirt yuzasi va mikroto'ldirish darajasining maydodonador betonning siqilishga bo'lgan mustahkamligiga ta'siri

Eksperimental ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, sement toshining siqilish va egilishdagi mustahkamligi mikroto'ldirish darajasi va mikroto'ldiruvchining nisbiy sirt yuzasi oshishi bilan ortib boradi hamda $S_{yD}=3000$ sm²/g va bog'lovchi massasining 25% miqdorida eng yuqori darajaga yetadi. Bu ko'rsatkichlar yanada oshirilganda, sement ulushining kamayishi va zarrachalar agregatsiyasining kuchayishi natijasida mustahkamlik pasayadi. Ortiqcha disperslik bir jinsli bo'lmagan aglomeratlarning hosil bo'lishiga va struktura zichligining pasayishiga olib keladi. Bu esa sement kompozitsiyalarida maksimal sinergetik samarani ta'minlaydigan optimal mikroto'ldirish parametrlari mavjudligini tasdiqlaydi.

KQCh va SP qo'shimchalari bilan modifikatsiyalangan sement tizimlarining faza hosil bo'lish jarayonlari va tuzilmaviy rivojlanishini o'rganish uchun 28 kunlik sement toshi namunalarining rentgenfazaviy tahlili o'tkazildi. Tadqiqot AL-27mini difraktometrda monoxromatlangan $CuK\alpha$ -nurlanish ($\lambda = 1,5406$ Å) yordamida 30 kV kuchlanish, 10 mA tok, 0,02° qadam va 1°/min tezlikda bosqichli skanerlash rejimida amalga oshirildi. Bu esa fazalarni aniqlashning yuqori aniqligini ta'minladi (5-rasm).

KQCh bilan modifikatsiyalangan sement toshining fazaviy tarkibini tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, qotishning 28 kunidan so'ng portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) miqdori nazorat namunasiga nisbatan 38% ga kamayadi. Bu esa gidratatsiyaning keyingi bosqichlarida putssolan reaksiyasining faollashganini ko'rsatadi. Shu bilan birga, sement toshi tuzilmasini zichlashtiruvchi va mustahkamlovchi mayda dispersli kalsiy gidrosilikatlari (C-S-H) hosil bo'lishi hisobiga amorf fazaning 19% ga ortganligi qayd etildi.

Polikarboksilat superplastifikator qo'shilgan namunalarda alit miqdori 18% ga, belit miqdori esa 3% ga kamayishi kuzatildi. Bu klinker minerallarining gidratatsiyasi jadallashganidan dalolat beradi. Shu bilan birga, portlandit miqdori 11% ga, ettringit 8% ga va amorf faza 3% ga oshdi. Bu esa superplastifikator ta'sirida suvning optimal taqsimlanishi va bir xilroq mikrostruktura shakllanishi bilan bog'liq.



5-rasm. 28 kunlik qotish muddatiga ega bo'lgan sement toshi namunalarning difraktogrammalari: a - qo'shimchalarsiz portlandsement; b - mineral to'ldiruvchili sement; v - polikarboksilat superplastifikatorli sement; g - kompleks modifikatsiyalangan tarkib

KQCh va superplastifikatorni birgalikda qo'llash eng yuqori samara berdi: portlandit miqdori 41% ga, ettringit miqdori 10% ga kamaydi, kalsiy gidrosilikatlarining ulushi esa 22% ga oshdi. Natijada zich, kam g'ovakli struktura hosil bo'ldi. Bu o'tkazuvchanlikni kamaytiradi va klinker minerallarining kechki gidratatsiyasini sekinlashtiradi. Olingan natijalar sement kompozitlarining fazaviy tarkibini optimallashtiradigan va uzoqqa chidamliligini oshiradigan kompleks qo'shimchani samaradorligini tasdiqlaydi.

Dissertatsiya ishining "**Kompleks qo'shimcha tarkibini tanlash, uning o'z-o'zidan zichlanuvchi maydadonador betonlar xossalari ta'sirini baholash va ishlanmani texnik-iqtisodiy asoslash**" deb nomlangan to'rtinchi bobida KQCh va

SP asosidagi kompleks qo‘shimchali o‘z-o‘zidan zichlanuvchi maydadonador beton tarkibini optimallashtirish bo‘yicha tadqiqotlar natijalari keltirilgan.

O‘z-o‘zidan zichlanadigan maydadonador betonning yaxshilangan xossalarini ta‘minlovchi kompleks qo‘shimchani optimal tarkibini asoslash uchun SP va KQCh ning birgalikdagi ta‘sirini o‘rganishga qaratilgan tajriba tadqiqotlari o‘tkazildi. Maqsad mustahkamlik va uzoqqa chidamlilikni saqlagan holda yuqori qulay joylashuvchanlikka ega aralashmalarni olishdan iborat edi.

Tadqiqotlar "sement+qum" nisbati 1:2,5 bo‘lgan tarkiblarda olib borildi. Qonuniyatlarni aniqlash uchun SP (bog‘lovchi massasining 0,6-1,4% i) va KQCh (sement massasining 20-30%) miqdorini o‘zgartirish bilan ikki omilli tajriba amalga oshirildi. Modifikatsiyalash samaradorligini baholash uchun qo‘shimchalarsiz nazorat aralashmalari qo‘llanildi.

Asosiy ko‘rsatkichlar sifatida quyidagilar xizmat qildi: suv-sement nisbati, 1, 7 va 28 kunlik siqilish va egilishdagi mustahkamlik chegarasi, shuningdek namunalarning zichligi. Qorishmalarning harakatchanligi o‘z-o‘zidan zichlanadigan betonlarga qo‘yiladigan talablarga mos keladigan Xagerman konusidagi yoyilish (260-280 mm) bilan baholandi. 40×40×160 mm o‘lchamdagi namuna-to‘sinchalar GOST 310.4-81 va GOST 12730.1-2020 bo‘yicha sinovdan o‘tkazildi. Ikki omilli tajriba natijalari va o‘rganilgan tarkiblarning tavsifi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Maydadonador betonning tajriba rejasi va tadqiqot natijalari

№	Kompleks qo‘shimcha tarkibi		Konusning yoyilishi, mm	Javob funksiyasining o‘rtacha qiymati					
	SP, %	KQCh, %		Suv/Sem	R ₁ , MPa	R ₇ , MPa	R ₂₈ , MPa	R _{eg} , MPa	ρ, kg/m ³
	X ₁	X ₂		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
1	-	-	200	0,64	30,7	31,6	50,7	5,1	2047
2		20	195	0,72	6,6	10,5	21,4	4,1	1835
3		25	195	0,88	5,8	9,1	17,9	3,4	1804
4		30	190	0,97	4,2	7,5	15,7	2,6	1752
5	0,6	-	280	0,46	27,8	42,3	49,1	7,2	2166
6		20	270	0,5	28,8	40,2	48,1	7,1	2134
7		25	270	0,54	24,4	37,3	46,1	6,8	2071
8		30	270	0,58	21,1	34,3	44,7	6,2	2035
9	1,0	-	280	0,34	37,6	44,2	50,1	8,0	2215
10		20	280	0,34	36,5	46,1	51,1	8,9	2207
11		25	280	0,34	34,8	42,1	51,0	8,1	2189
12		30	275	0,38	30,1	39,8	49,2	7,7	2134
13	1,4	-	280	0,34	37,7	44,2	50,0	7,6	2214
14		20	280	0,34	36,4	46,1	50,1	8,8	2208
15		25	280	0,34	34,7	42,1	49,1	8,2	2188
16		30	280	0,38	30,2	39,8	48,1	7,6	2131

Eksperimental ma‘lumotlar tahlili (1-jadval) shuni ko‘rsatdiki, polikarboksilat superplastifikator (SP) mayda donali beton qarishmalarining o‘z-o‘zidan zichlanishini ta‘minlashda hal qiluvchi omil hisoblanadi. SP qo‘shilmagan

tarkiblarda suv-sement nisbati oshirilishiga qaramasdan, talab etilgan harakatchanlikka erishib bo‘lmadi. Suv qo‘shish orqali harakatchanlikni oshirishga urinishlar aralashmaning qatlamlanishi va suv ajralishiga (yoyilish 190-210 mm) olib keldi. Bu esa bir jinsli bo‘lmagan tuzilishning shakllanishiga va betonning mustahkamligini pasayishiga sabab bo‘ldi. Shunday qilib, SP qo‘llash sifatli o‘z-o‘zidan zichlanuvchi betonlar olishning zaruriy sharti hisoblanadi.

Olingan natijalarni qayta ishlash va regressiya tenglamasining ahamiyatsiz koeffitsiyentlarini saralab chiqarishdan so‘ng matematik modellar ishlab chiqildi.

$$Suv/Sem=0,72-0,63X_1+0,25X_1^2-0,0026X_2+0,026X_2^2$$

$$R_1=9,61+42,94X_1-16,12X_1^2+0,27X_2-0,01X_2^2+0,037X_1X_2$$

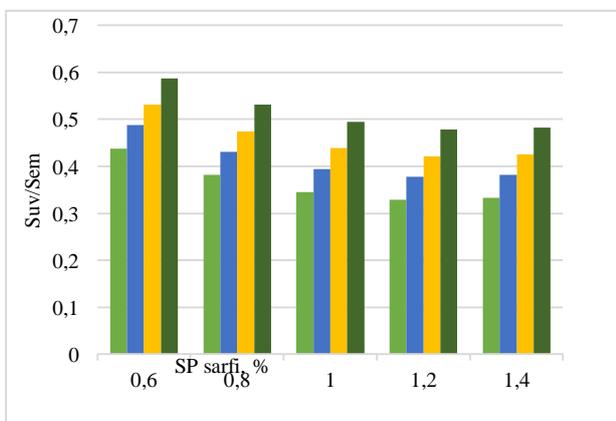
$$R_7=28,03+42,09X_1-22,90X_1^2-0,46X_2-0,091X_2^2+0,52X_1X_2$$

$$R_{28}=45,23+29,02X_1-19,82X_1^2-1,025X_2-0,012X_2^2+0,84X_1X_2$$

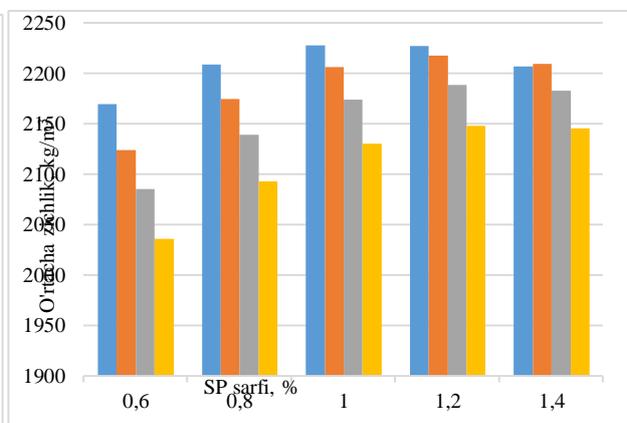
$$R_{eg}=4,91+5,74X_1-2,76X_1^2+0,051X_2-0,04X_2^2+0,064X_1X_2$$

$$\rho=1932+543,5X_1-248,1X_1^2+0,25X_2-0,21X_2^2+2,99X_1X_2$$

6-11-raslarda o‘zgaruvchan omillar - SP va KQCh miqdorining ta‘sirida o‘z-o‘zidan zichlanadigan maydadonador beton qorishmalarining asosiy fizik-mexanik ko‘rsatkichlarining o‘zgarishini aks ettiruvchi izografik bog‘liqliklar tasvirlangan. Keltirilgan diagrammalarda suv-sement nisbati, 1, 7 va 28 kunlik siqilishdagi mustahkamlik, egilishdagi mustahkamlik hamda betonning o‘rtacha zichligining o‘zgarish qonuniyatlari kuzatiladi. Olingan izografik yuzalar o‘rganilayotgan omillarning umumiy ta‘sirini ko‘rgazmali tarzda namoyish etish va materialning talab qilinadigan ekspluatatsion xususiyatlariga erishishni ta‘minlaydigan optimal kombinatsiyalar sohaslarini aniqlash imkonini beradi.



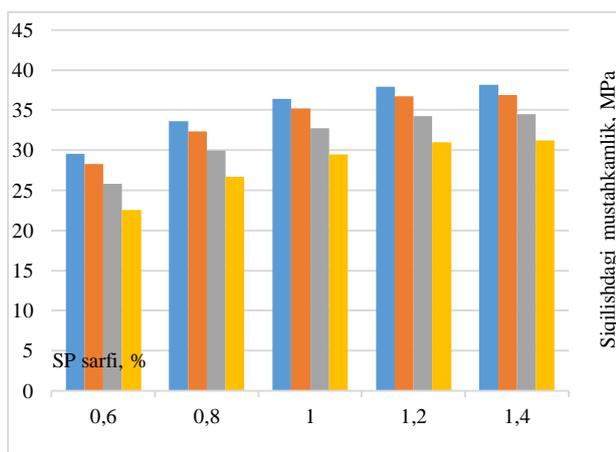
6-rasm. Kompleks qo‘shimcha tarkibidagi SP va KQCh miqdoriga qarab o‘z-o‘zidan zichlanadigan maydadonador beton aralashmalarining suv-sement nisbatiga ta‘siri



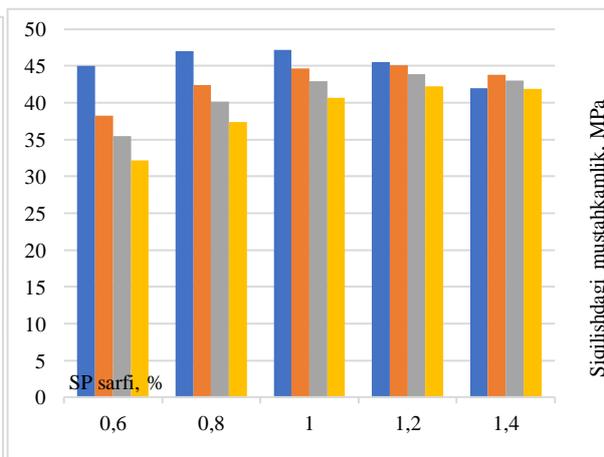
7-rasm. Kompleks qo‘shimcha tarkibidagi SP va KQCh miqdoriga bog‘liq ravishda o‘z-o‘zidan zichlanadigan maydadonador beton qorishmalarining o‘rtacha zichligiga ta‘siri

Eksperimental ma‘lumotlarga asoslangan matematik modellar o‘z-o‘zidan zichlanadigan maydadonador betonlarning fizik-mexanik xossalari shakllanishiga ta‘sir etuvchi o‘zgaruvchan omillar - SP va KQCh miqdorining ta‘sirini har tomonlama tahlil qilish imkonini berdi. Olingan regressiya tenglamalari yuqori darajadagi moslik va takrorlanish xossalari ega bo‘lib, bu ishlab chiqilgan

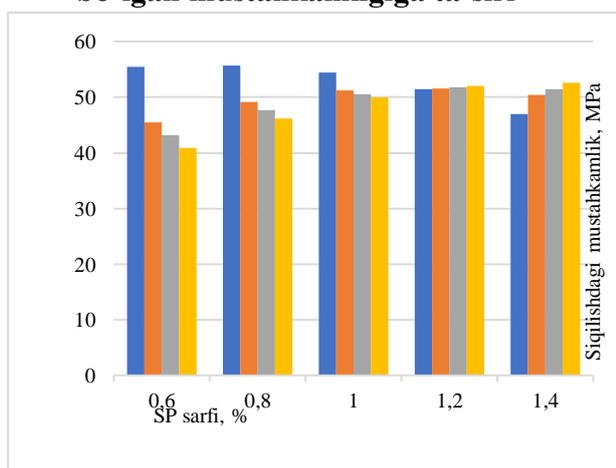
modellarning ishonchliligi va ularni o‘xshash materiallar tarkibini loyihalashda muhandislik hisob-kitoblari uchun qo‘llash mumkinligini tasdiqlaydi.



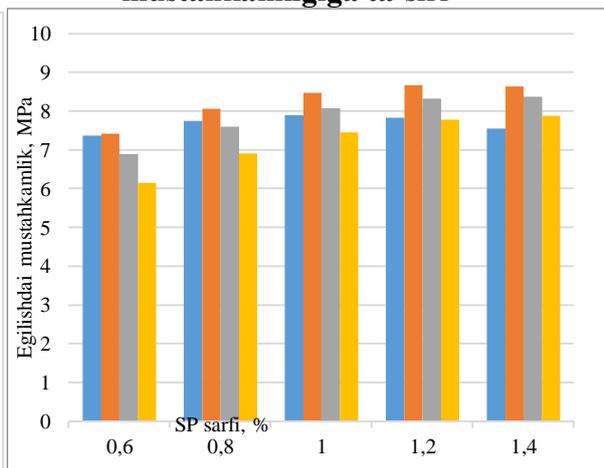
8-rasm. Kompleks qo‘shimcha tarkibidagi SP va KQCh miqdoriga bog‘liq ravishda maydonador betonning bir kunlik yoshdagi siqilishga bo‘lgan mustahkamligiga ta’siri



9-rasm. Kompleks qo‘shimchaning tarkibidagi SP va KQCh miqdoriga qarab, maydonador betonning 7 kunlik yoshdagi siqilishga bo‘lgan mustahkamligiga ta’siri



10-rasm. Kompleks qo‘shimcha tarkibidagi SP va KQCh miqdoriga bog‘liq ravishda 28 kunlik maydonador betonning siqilishga bo‘lgan mustahkamlik chegarasi

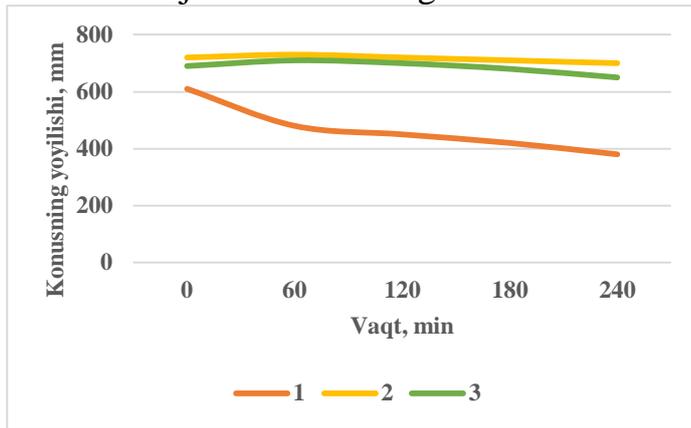


11-rasm. Kompleks qo‘shimcha tarkibidagi SP va KQCh miqdoriga bog‘liq ravishda 28 kunlik maydonador betonning egilishdagi mustahkamlik chegarasi

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, kompleks qo‘shimchaning tarkibiy qismlari o‘zgarishi betonning mustahkamlik xususiyatlariga chiziqsiz ta’sir ko‘rsatadi. Shu bilan birga, o‘rganilayotgan parametrlarning oqilona nisbati aralashmaning harakatchanligi va sement toshi tuzilmasining zichligi o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlab, optimal ekspluatatsion xossalarga erishish mumkinligi aniqlandi. Xususan, siqilish va egilishdagi eng yuqori mustahkamlik ko‘rsatkichlari superplastifikator miqdori 1,0% va kuygan qoliplash chiqindilari miqdori sement massasiga nisbatan 25% bo‘lganda kuzatilishi qayd etildi.

O‘z-o‘zidan zichlanadigan maydonador betonlarning asosiy texnologik parametrlari harakatchanlikning saqlanishi va qatlamlanishga bardoshlilik hisoblanadi (12-rasm). O‘rganilgan aralashmalarning batafsil tarkiblari va ularning

xossalari 2-jadvalda keltirilgan.



12-rasm. Tadqiq qilinayotgan tarkiblarda beton aralashmasining yoyiluvchanligining vaqt o'tishi bilan o'zgarishi

2-jadval

Modifikatsiyalovchi qo'shimchalar bilan tayyorlangan beton qorishmalarining tarkibi va xossalari

№	Sement, kg	Qum, kg	Suv, l	KQCh, kg	SP, %	Suv/Sem	KCh, sm
1	550	1375	275	-	-	0,51	П5 (≥20 sm)
2	413	1597	190	-	1,0	0,34	
3	413	1460	190	137	1,0	0,34	

GOST 10181-2014 va GOST 30459-2008 bo'yicha (22 ± 2 °C) haroratda o'tkazilgan sinovlar shuni ko'rsatdiki, qo'shimchalarsiz tarkiblar qo'llash samarasiz bo'lib, tezda harakatchanligini yo'qotadi. SP ning kiritilishi zarrachalarning sterik harakatlanishi hisobiga oquvchanlikning uzoq vaqt saqlanishini ta'minlaydi, SP va KQCh dan birgalikda foydalanish esa aralashma strukturasi barqarorlashtiradi va suv ajralishini kamaytiradi. Kompleks qo'shimchani qo'llash PK2 sinfining harakatchanligini 3 soatdan ortiq saqlab qolish imkonini beradi, bir xillikni yaxshilaydi va tebranishsiz zichlashtirishsiz joylashtirish imkoniyatini ta'minlaydi.

O'z-o'zidan zichlanadigan betonlarning an'anaviy betonlardan asosiy farqi ularning o'ziga xos reologik xossalari va zarrachalarning yuqori zichligida bo'lib, bu vibro tebranishsiz o'z og'irligi ostida mustaqil ravishda zichlanishini ta'minlaydi. Bu qolipni bir tekisda to'ldirish va zich, nuqsonsiz struktura hosil qilish imkonini beradi.

Aralashmalarining xossalari baholash V-voronka orqali oqish vaqti va L-qutichani to'ldirish bo'yicha me'yorlarga muvofiq amalga oshirildi (3-jadval).

3-jadval

O'z-o'zidan zichlanadigan beton qorishmalarining xossalari va sifat ko'rsatkichlarining ruxsat etilgan chetlanishlari

Beton aralashmasining sifat ko'rsatkichi nomi	Ko'rsatkich ning berilgan qiymati tushadigan oraliq	Ko'rsatkich ning berilgan qiymatdan yo'l qo'yiladigan og'ishi	Tarkiblar		
			1	2	3
O'rtacha zichlik, kg/m ³	2200-2600	±20	2225	2354	2306
V-simon voronka yordamida	9-25	±3	61	9	11

qovushqoqlik ko'rsatkichi, s					
L-simon quti yordamida sinovlarda to'siqlarni yengib o'tish qobiliyati ko'rsatkichi, s	Loyiha bo'yicha	±0.05	To'liq yengib o'tilmadi	6	10

3-jadval tahlili shuni ko'rsatdiki, modifikatsiyalangan tarkiblar 9-11 soniyalik oqish vaqti bilan tavsiflanib, optimal oquvchanlikni ta'minlaydi. Nazorat tarkibida esa bu ko'rsatkich 61 soniyagacha yetgan. L-box sinovida modifikatsiyalangan qorishmalarning o'tish vaqti 6-19 soniyani tashkil etdi. Bu ularning yuqori harakatchanligini va o'z-o'zidan zichlanadigan betonlarga qo'yiladigan talablarga to'liq mos kelishini tasdiqlaydi.

Keyingi bosqichda o'z-o'zidan zichlanuvchi maydadonador betonlarning fizik-mexanik xossalari kompleks qo'shimchani ta'siri o'rganildi (4-jadval).

4-jadval

Modifikatsiyalovchi qo'shimchalar qo'shilgan betonning xossalari

№	Beton sinfi	Prizmatik mustahkamlik, MPa	Elastiklik moduli, 10^3 , MPa	Suv o'tkazmaslik, Atm	Muzlashga bardoshlilik, davr	Suv yutuvchanlik, %	
						Massa bo'yicha, %	Hajm bo'yicha, %
1	B35	35,49	35,5	W8	300	6,1	14,2
2		38,7	35,8	W10	400	4,9	9,1
3		41,3	37,8	W12	450	4,5	8,3

Betonga qo'shimcha kiritilishi mustahkamlik va deformatsion xossalarni oshirishga yordam berishi aniqlandi. 3-tarkibning prizmatik mustahkamligi ($f_{c,prism}$) nazorat (1-tarkib) ga nisbatan 14,6% ga va 2-tarkibga nisbatan 6,7% ga oshdi. Elastiklik moduli (E_b) mos ravishda 6,5% va 5,2% ga ko'tarildi.

Kompleks qo'shimchani qo'llash, shuningdek, kapillyar g'ovaklikni kamaytirish orqali beton zichligini oshirdi, bu esa ekspluatatsion xossalarning yaxshilanishiga olib keldi. Muzlashga bardoshlilik F300 dan F450 gacha, suv o'tkazmaslik W8 dan W12 gacha ko'tarildi. Suv shimuvchanlik massa bo'yicha 6,1% dan 4,5% gacha va hajm bo'yicha 14,2% dan 8,3% gacha pasaydi, bu g'ovaklikning kamayishi va materialning uzoqqa chidamliligini yaxshilanishini tasdiqlaydi.

Betonning fizik-mexanik xossalari, jumladan, mustahkamligi, deformativligi, o'tkazuvchanligi va muzlashga bardoshiligini g'ovaklarning o'lchamlari, shakli va hajmiga bog'liq bo'lgan g'ovak tuzilishi bilan tavsiflanadi.

G'ovakli strukturani tahlil qilish uchun Thermo Scientific Pascal 240 simobli porozimetrdan foydalanildi. Beton namunalari (2-jadval) 28 sutka davomida qotgandan so'ng, 105 °C da quritildi, keyin vakuumda ishlov berildi va simob bilan to'ldirildi. Olingan porogrammlar asosida (5-jadval) o'rganilayotgan tarkiblarning

g'ovakli tuzilishining miqdoriy xususiyatlari aniqlandi.

5-jadval

Tadqiq etilayotgan namunalarning g'ovak tuzilishi ko'rsatkichlari

Ko'rsatkichlar nomi	Tarkib №1	Tarkib №2	Tarkib №3
G'ovaklarning nisbiy hajmi (mm ³ /g):	51,11	44,12	41,78
G'ovaklarning umumiy sirt maydoni (m ² /g)	5,16	4,822	4,3
G'ovaklarning o'rtacha o'lchami (mkm):	0,024	0,022	0,021
Namunalarning umumiy g'ovakligi, %	9,81	8,89	8,42

Maydadonador betonning uchta tarkibini porozimetrik tahlil qilish natijalari modifikatsiyalovchi qo'shimchalar kiritilganda g'ovakli strukturaning qonuniy ravishda yaxshilanishini ko'rsatdi. Kompleks qo'shimcha qo'llanilgan 3-raqamli tarkibda umumiy g'ovaklik 2-raqamli tarkibga nisbatan 9,4% ga va 1-raqamli tarkibga nisbatan 14,2% ga kamaydi. Bu esa zichlikning oshishi va g'ovaklarni hajmining kamayishidan dalolat beradi.

3-raqamli tarkibdagi g'ovaklarning nisbiy hajmi 41,78 mm³/g gacha kamaydi, bu mos ravishda 1-raqamli va 2-raqamli tarkiblarning qiymatlaridan 18,2% va 5,3% ga pastdir. G'ovaklarning o'rtacha o'lchami 0,021 mkm ni tashkil etdi - bu o'rganilgan aralashmalar orasidagi eng kichik qiymatdir. G'ovaklik va ular o'lchamining kamayishi betonning zichligi, mustahkamligi va muzlashga bardoshlilikini oshirishni ta'minlaydi.

Shunday qilib, tarkibda kompleks modifikatsiyadan foydalanish yanada zich, bir xil tuzilishni shakllantirishga yordam beradi va materialning yaxshilangan ekspluatatsion xossalarini ta'minlaydi.

XULOSA

“Kompleks modifikatsiyalangan bog'lovchi asosidagi o'z-o'zidan zichlanuvchi maydadonador beton tarkibini ishlab chiqish” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertasiyasi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. KQChni 30 daqiqa davomida mexanik faollashtirish optimal nisbiy sirt yuzaga (4412 sm²/g gacha) va zarrachalarning o'rtacha o'lchami 5,4 mkm ga erishishni ta'minlashi aniqlandi. Maydalash vaqtining yanada ortishi zarrachalarning agregatsiyasiga va ularning reaksiya qobiliyatining pasayishiga olib keladi.

2. KQCh va polikarboksilat superplastifikatorni birgalikda qo'shish sement suspenziyalarining strukturaviy qovushqoqligini 34-41% ga kamaytirib, aralashmalarning reologik xossalari va qulay joylashuvchanligini yaxshilaydi.

3. Ishlab chiqilgan optimal tarkibli kompleks qo'shimcha sezilarli sinergetik faollik ko'rsatadi: sementning gidratatsiyasini tezlashtiradi, past asosli kalsiy gidrosilikatlarining (C-S-H) hosil bo'lishini ko'paytiradi va portlandit miqdorini kamaytiradi, bu esa sement toshining yanada zich va barqaror strukturasi shakllantirishga yordam beradi.

4. Superplastifikator miqdori 1,0% va mexanik faollashtirilgan KQCh miqdori sement massasiga nisbatan 25% bo'lganda o'z-o'zidan zichlanuvchi maydadonador betonlarning optimal tarkibiga erishilishi aniqlandi. Natijada umumiy g'ovaklik 14% ga kamayadi, g'ovaklarning o'rtacha o'lchami 0,021 mkm gacha pasayadi, suv o'tkazmaslik W8 sinfdan W12 gacha va muzlashga bardoshlilikni F300 dan F450 davrgacha ortishiga olib keladi.

5. Eksperimental tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, kompleks qo'shimcha aralashmalarning harakatchanligini uzoq vaqt mobaynida saqlashini, qatlamlanishga chidamliligini va yotqizishda strukturaning barqarorligini ta'minlaydi.

6. Ishlab chiqilgan texnologiya "BUNYODKOR TEMIR-BETON INTERSERVIS" MCHJ korxonasiida joriy etildi. Joriy etish sement sarfini 25% ga kamaytirish, betonning muzlashga bardoshlilikini 1,5 baravar oshirish va suv o'tkazmasligini ikki sinfga ko'tarish imkonini berdi. Iqtisodiy samara 500 m³ hajmda 59,9 mln so'mni tashkil etdi. 1000 m³ beton qarishmasini ishlab chiqarishdan kutilayotgan samaradorlik 119,8 mln so'mni tashkil etadi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.15/31.08.2022.Т.73.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ
СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ТОШЕВА ДИЛБАР ФАРХОДОВНА

**РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ
МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С КОМПЛЕКСНО-
МОДИФИЦИРОВАННЫМ ВЯЖУЩИМ**

Специальность 05.09.05-«Строительные материалы и изделия»

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD) зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2025.4.PhD/T6078.

Диссертация выполнена в Бухарском государственном техническом университете.

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

Научный руководитель: **Адилходжаев Анвар Ишанович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Хасанов Бахридин Баратович**
доктор технических наук, профессор

Амиров Турсоат Жумаевич
доктор философии по техническим наукам, доцент

Ведущая организация: **Джизакский политехнический институт**

Защита диссертации состоится "17" января 2026 г. в 12⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.15/31.08.2022.T.73.04 при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийўлчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (регистрационный номер - №__). (Адрес: 100167, Ташкент ул. Темирийўлчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66).

Автореферат диссертации разослан "6" января 2026 года.
(протокол реестра № 30 от "5" января 2026 года).

С.С. Шаумаров

Заместитель председателя научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

У.З. Шермухамедов

Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

А.А. Ишанходжаев

Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире развитию строительной отрасли предъявляются высокие требования к разработке конструкционных материалов, что является одним из важнейших вопросов постоянного улучшения их свойств. В настоящее время в развитых странах строительство осуществляется за счет использования самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов в качестве инновационных решений. В связи с этим особое внимание уделяется вопросам разработки составов самоуплотняющегося мелкозернистого бетона на основе комплексного модифицированного вяжущего для цементного бетона как высокоэффективного материала, не имеющего аналогов.

В мире в строительной отрасли ведутся научно-исследовательские работы, направленные на формирование структуры цементного камня с высокой плотностью, низкой капиллярной пористостью и образованием новых гидратных соединений, с использованием мелкодисперсных минеральных наполнителей и химических веществ. В этом направлении, в частности, одной из актуальных задач является разработка наиболее удобного и простого способа получения самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов с улучшенными эксплуатационными свойствами и комплекса высокоэффективных добавок на основе химических модификаторов и минеральных наполнителей для использования в технологии бетона.

В быстро развивающейся строительной отрасли нашей Республики достигнуты значительные результаты в разработке модифицированных бетонных смесей и железобетонных конструкций на основе различных добавок, снижении их себестоимости, а также повышении качества и улучшении свойств цементных бетонов, что, в свою очередь, позволяет повысить надежность и сейсмостойкость зданий и сооружений, возводимых с использованием таких бетонов. “В стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы” поставлена задача к 2026 году путем активного внедрения технологий “Зеленой экономики” во все отрасли...”¹ принять меры для повышения энергоэффективности экономики на 20 процентов и сокращению выбросов вредных газов на 20 процентов. Реализация этих задач, в том числе производство энергоэффективных и экологически чистых строительных материалов с заданными свойствами, создание и совершенствование существующих технологий и энергоэффективных подходов их производства на основе местного сырья и разработка составов самоуплотняющегося мелкозернистого бетона на основе комплексного модифицированного вяжущего является актуальной задачей.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, предусмотренных постановлениями и указами Президента Республики Узбекистан №ПП-4198 от 20 февраля 2019 года «О мерах по

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года за №ПФ-60 “О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы”.

коренному совершенствованию и комплексному развитию промышленности строительных материалов», №ПП-4335 от 23 мая 2019 года «О дополнительных мерах по ускоренному развитию отрасли производства строительных материалов», №УП-6119 от 27 ноября 2020 года «Об утверждении стратегии модернизации, ускоренного и инновационного развития строительной отрасли Республики Узбекистан на 2021-2025 годы», а также других нормативных документов, касающихся отрасли строительства.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологии республики. Настоящее исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологии Республики Узбекистан: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Важное значение при разработке цементных бетонов с необходимыми комплексом физико-механических свойств со сниженным расходом материалов и энергетических затрат особая роль отводится исследованиям по модификации бетона минеральными наполнителями и химическими добавками.

Основы применения таких добавок в многокомпонентных высококачественных бетонах были заложены известными зарубежными учеными В.И. Соломатовым, Г.И. Горчаковым, Ю.М. Баженовым, Л.И. Дворкиным, П.Г. Комоховым, А.В. Волженским, Ю.М. Буттом, И.А. Рыбьевым, Б.В. Гусевым, А.А. Афанасьевым, Н.Б. Урьевым, С.М. Мчедлов-Петросяном, В.Г. Батраковым, В.Н. Выровым, А.Г. Комаром, А.С. Пантелеевым, В.Т. Ерофеевым, В.И. Калашниковым, В.И. Кондращенко, Т.М. Петровой, С.В. Шестоперовым, А.Е. Шейкиным, А.В. Шейнфельдом, В.Б. Ратиновым, А.В. Ушеровым-Маршаком, В.С. Рамачандраном, Б.Р. Фаликманом, В.М. Колбасовым, С.М. Рояком, В.В. Тимашевым, Т.В. Кузнецовой, М. Венюа, Х. Тейлором, М. Регуром, М. Коллепарди, Р. Кондо, Д. Роем, К. Хатторном, М. Даймоном, R. Fere, G. Hintze, F. Loher, T. Thorvaldson, F.J. Hogan, L.U. Spellman, A. Walter, H. Uchikawa, Sh. Hanehara, F. Lallard, T.S. Do, A. Durecovic, S. Sarcar, I. Older, V. Yogendran, P. Aitchin, M. Cheurexu, E.G. Deharrard, V. Mechtherine, P.T. Santhosh, M. Schmidt, P. Kleingelhöfer, D. Frank, K. Fridemenn, P. Richard, M. Chentern, P.Y. Blais, C. Danrioc, A.S. Belardi, K.K. Sideris, E. Guneyisi, R. Flatt, R. Lewis, J. Plank, I. Schober, H. Okamura, K. Ozawa, K. Yamada, M. Fenollera, L. Garcia, P. Richard, G. Edward, M. Buil, A. Neville и другими зарубежными учеными.

В Республике Узбекистан в разные годы научные исследования в сфере использования мелкодисперсных минеральных порошков в технологии многокомпонентных высококачественных бетонов проводили такие ученые, как А.И. Адилходжаев, А.А. Тулаганов, Э.У. Касимов, М.К. Тахиров, Н.А. Самигов, Б.Б. Хасанов, В.М. Цой, И.М. Махаматалиев, С.С. Шаумаров, Х.Х. Камилов, К.С. Умаров, А.Т. Илясов и др.

В выполненных исследованиях подробно освещены вопросы проектирования оптимальных составов многокомпонентных бетонов, раскрыты взаимосвязь их технологических и физико-механических свойств с

механизмом воздействия химических модификаторов и минеральных наполнителей на цементную систему.

Однако ряд важных аспектов, существенно влияющих на формирование требуемых физико-механических показатели материала, изготовленных из подвижных самоуплотняющихся бетонных смесей еще недостаточно изучены. В частности, мало внимания уделяется влиянию минеральных микронаполнителей и суперпластификаторов на структуру композита, толщину и плотность контактного слоя между цементом и наполнителем, формирование пористой структуры, что требует более глубокого изучения.

Кроме того, недостаточно изучено влияние вида и количества минерального наполнителя на формирование свойств самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов с улучшенными эксплуатационными свойствами.

В связи с этим особую актуальность составляет задачи расширения комплексных исследований по разработке эффективных составов бетона с использованием формовочных отходов металлургического производства промышленности в качестве активной минеральной добавки.

Соответствие диссертации планам научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация.

Диссертационная работа выполнена в рамках проекта «Оптимизация состава и прогнозирование свойств многокомпонентных высококачественных бетонов на основе полиструктурной теории композиционных материалов» научно-исследовательской работы Ташкентского государственного транспортного университета № БВ-Ф4-04 (2018-2020).

Целью исследования является разработка составов самоуплотняющегося мелкозернистого бетона с улучшенными эксплуатационными свойствами на основе портландцемента марки ЦЕМ I 32,5Н с комплексным модификатором на основе суперпластификатора (СП) и механоактивированных горелых формоотходов (ГФО) металлургического производства.

Задачи исследования:

исследование структурообразование цементного камня с комплексным модификатором на основе СП и ГФО;

оптимизация состава самоуплотняющейся мелкозернистой бетонной смеси с ГФО и СП;

исследование технологических факторов производства и физико-механических свойств самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей и бетонов, модифицированных с применением ГФО и СП;

технико-экономическое обоснование результатов исследований и проведение апробации в производстве.

Объект исследования являются комплексно модифицированные самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны.

Предмет исследования являются физико-механические, физико-химические и технико-экономические показатели самоуплотняющегося мелкозернистого бетона, изготовленного с применением СП и

механоактивированного ГФО.

Методы исследования. В процессе исследований использовались современные методы физико-химического анализа, стандартизированные методы изучения свойств и показателей качества цементного бетона, а также математические методы проектирования составов и оптимизации технологических переделов изготовления цементного бетона, статистические методы обработки анализа результатов эксперимента.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

подтверждена рабочая гипотеза о том, что с использованием ГФО в качестве активного наполнителя с учетом синергетического эффекта поликарбоксилатного суперпластификатора представляется возможным за счет интенсификации процессов гидратации проектировать самоуплотняющиеся комплексно-модифицированные мелкозернистые с улучшенным, экономичности по составу бетоны на основе рядового портландцемента ЦЕМІ32.5Н;

доказано, что за счёт стерического эффекта поликарбоксилатного суперпластификатора, способствующего равномерному распределению частиц вяжущего и предотвращающего их агломерацию, а также благодаря наличию активных центров на поверхности механоактивированного ГФО обеспечивается структурно устойчивая высоко подвижная система в результате чего достигается получение самоуплотняющейся мелкозернистой бетонной смеси, характеризующейся стабильностью структуры и оптимальным сочетанием реологических и прочностных характеристик;

доказано, что применение механоактивированного ГФО в качестве минерального наполнителя активизирует взаимодействие аморфного кремнезема с гидроксидом кальция, повышают пуццолановую активности среды и в результате этого формируются дополнительные гидратные новообразования, обеспечивающие уплотнение и упрочнение структуры цементного камня.

установлено, что использование комплексного модификатора на основе СП и ГФО за счёт сокращения количества воды затворения и интенсификации процессов гидратации, способствует снижению общей пористости цементного камня с уменьшением доли крупных капиллярных пор, что в конечном итоге приводит к повышению плотности и долговечности цементного бетона.

Практические результаты исследования заключаются:

разработаны оптимальные составы самоуплотняющиеся мелкозернистых бетонных смесей с улучшенными эксплуатационными свойствами на основе обычного портландцемента с применением суперпластификаторов и ГФО;

произведена оценка влияния на свойства самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов состава комплексной добавки и обоснована технико-экономическая эффективность разработки;

установлено, что применение комплексного модификатора на основе СП и ГФО за счет уменьшения содержания воды в составе бетонной смеси и интенсификации процессов гидратации обеспечивается снижение общей

пористости цементного камня, уменьшение доли крупных капиллярных пор. Разработанные составы внедрены в производство монолитных и сборных железобетонных конструкций.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается тем, что исследования проводилось с использованием современных методов физико-химического анализа и физико-механических испытаний, средств и приемов математического планирования эксперимента, соответствием выводов, полученных в результате эксперимента, с теоретическими закономерностями, а также апробацией разработки в производственных условиях.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что полученные результаты углубляют в определенном степени представления о структурообразовании цементных самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов в присутствии суперпластифицирующих добавок и дисперсных минеральных микронаполнителей в цементной системе, что имеет важное значение для развития теории и практики структурообразования бетона, его технологии и свойств.

Практическая значимость результатов исследования объясняется получением самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов с требуемым комплексом свойств на основе комплексных добавок, полученных из местного сырья, и внедрением их в производство.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов научных исследований по разработке состава самоуплотняющегося мелкозернистого бетона на основе комплексного модифицированного вяжущего:

полученные научные результаты по изучению комплексно модифицированных бетонов на основе отходов металлургической промышленности и поликарбоксилатного суперпластификатора внедрены в производство монолитных строительных конструкций из бетона класса В35 в ООО "BUNYODKOR TEMIR-BETON INTER SERVIS" (справка Ассоциации "Узпромстройматериалы" No 02/15-3766 от 17 ноября 2025 г.). При этом была произведена опытная партия бетонной смеси объемом 1000 м³. В результате экономический эффект от производства плит перекрытия составил 119,8 млн. сумов;

методика повышения водонепроницаемости до двух классов на основе закономерностей формирования структуры с уменьшением расхода цемента в 1,25 раза, повышением морозостойкости в 1,5 раза была внедрена в ООО "BUNYODKOR TEMIR-BETON INTER SERVIS" при производстве монолитных строительных конструкций из бетона класса В35 (справка Ассоциации "Узпромстройматериалы" No 02/15-3766 от 17 ноября 2025 г.). При этом была произведена опытная партия бетонной смеси объемом 500 м³. В результате экономический эффект от производства колонн и балок составил 59,9 млн. сумов.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были обсуждены на 2 международных и 2 республиканских научно-практических и научно-технических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 14 научных работы, включая 2 статей в зарубежных журналах и 5 статей, опубликованных в республиканских научных журналах, рекомендованных ВАК РУз. Кроме того, получено 3 патента на изобретения Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 120 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность проведенных исследований, сформулированы цель и задачи, определены объект и предмет исследований, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики, изложены научная новизна и практические результаты, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведены данные по внедрению в практику результатов исследования, опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Состояния вопроса и задачи исследования**» приведён аналитический обзор научных исследований по рассматриваемой теме.

Из анализа литературных источников установлено, что в мировой строительной практике широкое развитие получают самоуплотняющиеся бетонные смеси и бетоны на их основе, обладающие повышенными эксплуатационными характеристиками. Особый интерес представляют самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны, отличающиеся однородной структурой, высокой технологичностью и возможностью применения в монолитном строительстве без вибрационного уплотнения, что способствует повышению качества и долговечности конструкций.

Ряд исследований показал, что наиболее эффективным способом получения самоуплотняющихся бетонных смесей с улучшенными свойствами является применение комплексных модификаторов, включающих химические добавки и минеральные компоненты. Этим требованиям соответствуют поликарбоксилатные СП нового поколения и механоактивированные ГФО, обеспечивающих комплекс требуемых физико-механических и эксплуатационных характеристик бетона.

В то же время анализ литературных данных свидетельствует о недостаточной изученности влияния комплексной добавки на основе суперпластификатора и минерального наполнителя на процессы гидратации, формирование порового пространства и структуру цементного камня в самоуплотняющихся мелкозернистых бетонах, что подтверждает актуальность дальнейших исследований в данном направлении.

На основе анализа литературных источников и поставленных задач исследования сформулирована **рабочая гипотеза**. Основываясь на современных представлениях о закономерностях физико-химических взаимодействий в системе микронаполненного цемента, рассматривая с одной стороны, ГФО в качестве активной минеральной добавки, способствующей интенсификации процессов гидратации, целенаправленному формированию требуемых структурных параметров бетона, а также предотвращающей расслоение самоуплотняющейся бетонной смеси, а с другой — из возможностей получения высокоподвижных бетонных смесей за счёт выраженного синергетического эффекта поликарбоксилатного суперпластификатора, предполагается возможным разработка оптимального состава самоуплотняющегося комплексно модифицированного мелкозернистого бетона с улучшенными эксплуатационными свойствами на основе портландцемента марки ЦЕМ I 32,5Н.

Во второй главе диссертационной работы **«Методы исследования и применяемые материалы»** представлены характеристики исходных сырьевых компонентов, использованных для получения комплексной добавки, а также описаны методы, принятые при выполнении экспериментальных исследований. Для изготовления цементных композиций применялся портландцемент производства ООО «Кизилкумцемент» марки ЦЕМ I 32,5Н в соответствии с требованиями ГОСТ 31108–2020. В качестве минерального наполнителя использовался металлургический отход производства АО «Ўзбекистон темир йўллари», а в качестве пластифицирующей химической добавки — суперпластификатор PRO500 на основе поликарбоксилатных эфиров.

В ходе исследований применялись современные методы физико-химического анализа. Помол ГФО осуществлялся с использованием лабораторной шаровой мельницы марки ШЛМ-100. Дисперсность минерального наполнителя определялась по величине удельной поверхности методом воздухопроницаемости Козени–Кармана с использованием прибора ПСХ-11А.

Сроки схватывания и нормальная густота цементного теста определялись на приборе Вика, реологические характеристики цементных суспензий — с применением ротационного вискозиметра LAMYREOLOGY. Изучение поровой структуры цементных систем, модифицированных комплексной добавкой, проводилось методом ртутной порометрии с использованием порозиметра Thermo Scientific Pascal 240 EVO. Структуру и фазовый состав цементных композиций исследовали методом рентгеновской дифрактометрии.

Кроме того, для оптимизации составов самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей использовался математический метод планирования эксперимента, что позволило установить рациональные соотношения компонентов и определить влияние факторов на основные свойства бетона.

Третья глава диссертационной работы «Влияние комплексной добавки на основе отходов металлургической промышленности и поликарбоксилатного суперпластификатора на формирование структуры и свойств цементного камня» посвящена результатам экспериментальных исследований, направленных на разработку и оптимизацию структуры и свойств смешанных цементных вяжущих с использованием минеральных и химических модификаторов, рассмотрены процессы механоактивации минерального наполнителя, изучены реологические характеристики цементных суспензий и представлены результаты физико-химических исследований, раскрывающих закономерности структурообразования и формирования прочностных показателей комплексно модифицированного цементного камня.

Как известно одним из ключевым технологическим переделом преобразования различных видов сырья в технические продукты обладающих комплексом необходимых физико-механических показателей является процесс механоактивации обеспечивающий существенную модификацию твердых веществ. В результате процесса диспергирования происходит не только изменение гранулометрического состава материала, но и формируется условия для увеличения количества активных центров, изменение формы и рельефа частиц, увеличение удельной поверхности и переход кристаллической структуры в аморфную. Учитывая вышеизложенное, в данной главе представлены результаты исследований по механоактивации ГФО.

Полученные из экспериментов результаты размолы ГФО представлены на рис. 1.

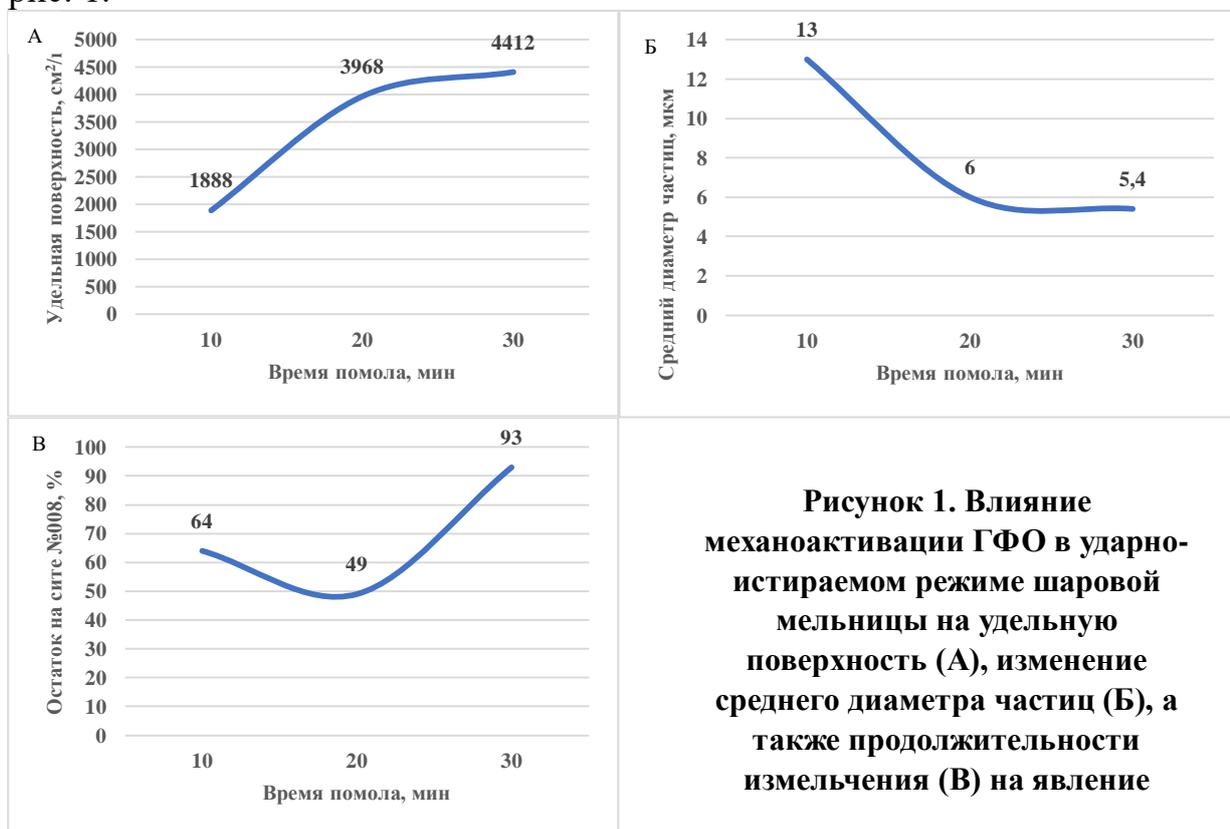


Рисунок 1. Влияние механоактивации ГФО в ударно-истираемом режиме шаровой мельницы на удельную поверхность (А), изменение среднего диаметра частиц (Б), а также продолжительности измельчения (В) на явление

Экспериментальные исследования показали, что механическая активация приводит к существенному увеличению удельной поверхности ГФО, достигающей 4412 см²/г при 30-минутном измельчении, что свидетельствует о росте реакционной способности материала. Средний размер частиц уменьшается с 13 до 5,4 мкм, подтверждая эффективность диспергирования. Ситовой анализ показал сокращение остатка на сите №008 с 64 % до 49 %, однако при измельчении свыше 30 минут наблюдается его резкий рост до 93 %, обусловленный агломерацией частиц. Это указывает на нецелесообразность дальнейшего помола, поскольку образование агрегатов снижает эффективность активации и может ухудшить свойства цементного камня.

В процессе хранения свежедиспергированных минеральных наполнителей происходит их поверхностная дезактивация, обусловленная адсорбцией молекул воды из воздуха. Под действием влаги на поверхности образуются протоны и гидроксильные группы, формирующие водородные связи с активными центрами, что снижает их реакционную способность. С учётом данных закономерностей проведено экспериментальное исследование влияния срока хранения наполнителя на прочностные характеристики цементного камня (рис. 2).

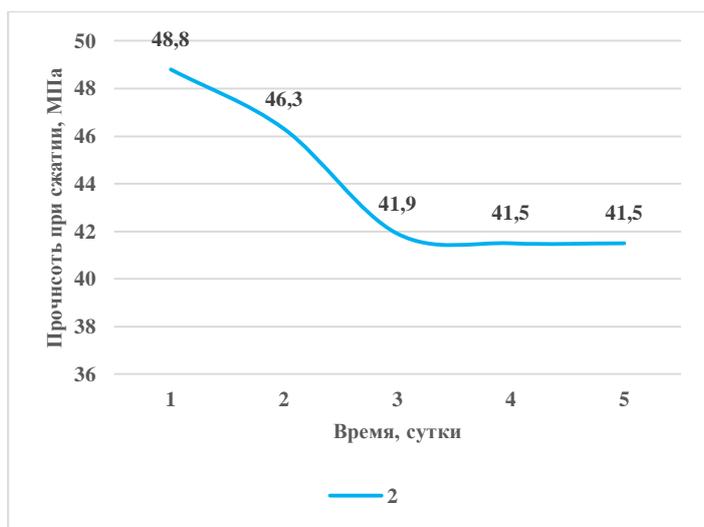


Рисунок 2. Снижение активности наполнителя вследствие адсорбции влаги в течение времени после измельчения

Современные исследования показывают, что с увеличением дисперсности минеральных материалов возрастает концентрация активных центров Бренстеда, определяющих их реакционную способность. Однако после достижения определённого значения удельной поверхности дальнейшее измельчение не приводит к существенному росту активности и становится энергетически неэффективным. Для определения оптимальных параметров микронаполнителя проведены эксперименты с изменением его удельной поверхности от 1000 до 4000 см²/г и содержанием от 5 до 40%. Анализ прочностных характеристик цементного камня показал существование оптимальной области дисперсности и степени наполнения, наличие высокие показатели прочности и эффективности использования минеральных добавок

(рис. 3 и 4).

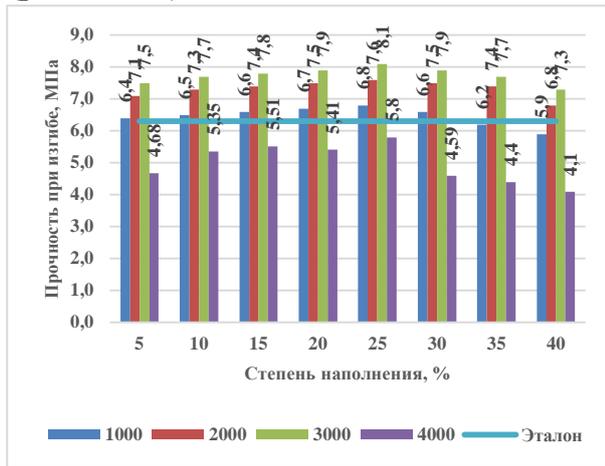


Рисунок 3. Влияние удельной поверхности и степени наполнения ГФО на прочность при изгибе мелкозернистого бетона

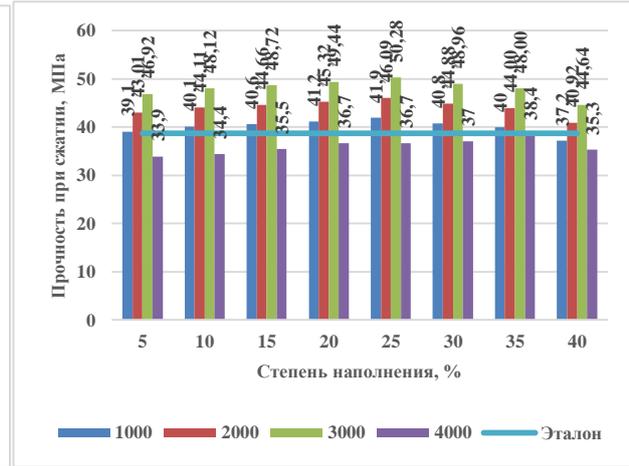


Рисунок 4. Влияние удельной поверхности и степени наполнения ГФО на прочность при сжатии мелкозернистого бетона

Анализ экспериментальных данных показал, что прочность цементного камня при сжатии и изгибе возрастает с увеличением степени микронаполнения и удельной поверхности наполнителя, достигая максимума при $S_{уд} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ и содержании 25% от массы вяжущего. При дальнейшем повышении этих показателей прочность снижается вследствие уменьшения доли цемента и усиления агрегации частиц. Избыточная дисперсность приводит к образованию неоднородных агломератов и снижению плотности структуры, что подтверждает наличие оптимальных параметров микронаполнения, обеспечивающих максимальный синергетический эффект в цементных композициях.

Для изучения процессов фазообразования и структурного развития цементных систем, модифицированных добавками ГФО и СП, был проведён рентгенофазовый анализ образцов цементного камня в возрасте 28 суток. Исследование выполнено на дифрактометре AL-27mini с использованием монохроматизированного $\text{CuK}\alpha$ -излучения ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) в режиме ступенчатого сканирования при напряжении 30 кВ, токе 10 мА, шаге $0,02^\circ$ и скорости $1^\circ/\text{мин}$, что обеспечило высокую точность идентификации фаз (рис. 5).

Анализ фазового состава цементного камня, модифицированного ГФО, показал, что через 28 суток твердения содержание портландита ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) снижается на 38% по сравнению с контрольным образцом, что свидетельствует об активизации пуццолановой реакции на поздних стадиях гидратации. Одновременно зафиксировано увеличение аморфной фазы на 19%, обусловленное формированием мелкодисперсных гидросиликатов кальция (C-S-H), уплотняющих и упрочняющих структуру цементного камня.

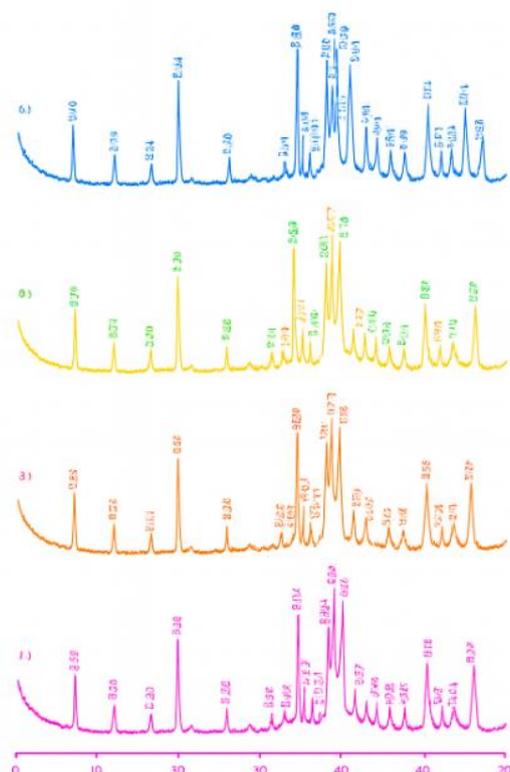


Рисунок 5. Дифрактограммы образцов цементного камня 28-суточного срока твердения: а - портландцемент без добавок; б - цемент с минеральным наполнителем; в - цемент с поликарбоксилатным суперпластификатором; г - комплексно модифицированный состав

В образцах с поликарбоксилатным суперпластификатором наблюдалось снижение содержания алита на 18% и белита на 3%, что указывает на интенсификацию гидратации клинкерных минералов. При этом отмечено повышение содержания портландита на 11%, этtringита на 8% и аморфной фазы на 3%, что связано с оптимизацией распределения воды и формированием более однородной микроструктуры под действием суперпластификатора.

Наибольший эффект достигнут при совместном применении ГФО и суперпластификатора: содержание портландита уменьшается на 41%, этtringита — на 10%, а доля гидросиликатов кальция возрастает на 22%. В результате формируется плотная, малопористая структура, снижающая проницаемость и замедляющая позднюю гидратацию клинкерных минералов. Полученные результаты подтверждают эффективность комплексной добавки, обеспечивающей оптимизацию фазового состава и повышение долговечности цементных композитов.

В четвёртой главе диссертационной работы **«Выбор состава комплексной добавки, оценка её влияния на свойства самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов и технико-экономическое обоснование разработки»** приведены результаты исследований по оптимизации состава самоуплотняющегося мелкозернистого бетона с комплексной добавкой на основе ГФО и СП.

Для обоснования оптимального состава комплексной добавки, обеспечивающей улучшенные свойства самоуплотняющегося мелкозернистого бетона, проведены экспериментальные исследования, направленные на изучение совместного влияния СП и ГФО. Целью являлось получение смесей с высокой удобоукладываемостью без внешнего уплотнения при сохранении прочности и долговечности.

Исследования выполнены на составах с соотношением «цемент+песок» = 1:2,5. Для выявления закономерностей реализован двухфакторный эксперимент с варьированием содержания СП (0,6–1,4% от массы вяжущего) и ГФО (20–30% замещения цемента). Контрольные смеси без добавок использовались для оценки эффективности модификации.

Основными показателями служили: водоцементное отношение, предел прочности на сжатие и изгиб в возрасте 1, 7 и 28 суток, а также плотность образцов. Подвижность смесей оценивали по растекаемости в конусе Хагермана (260–280 мм), что соответствует требованиям к самоуплотняющимся бетонам. Образцы-балки размером 40×40×160 мм испытывали по ГОСТ 310.4-81 и ГОСТ 12730.1-2020. Результаты двухфакторного эксперимента и характеристика исследованных составов представлены в табл. 1.

Таблица 1

План эксперимента и результаты испытаний мелкозернистого бетона

№	Состав комплексной добавки		Распływ конуса, мм	Среднее значение функции отклика					
	СП, %	ГФО, %		В/Ц	R ₁ , МПа	R ₇ , МПа	R ₂₈ , МПа	R _{изгиб} , МПа	ρ, кг/м ³
	X ₁	X ₂		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
1	-	-	200	0,64	30,7	31,6	50,7	5,1	2047
2		20	195	0,72	6,6	10,5	21,4	4,1	1835
3		25	195	0,88	5,8	9,1	17,9	3,4	1804
4		30	190	0,97	4,2	7,5	15,7	2,6	1752
5	0,6	-	280	0,46	27,8	42,3	49,1	7,2	2166
6		20	270	0,5	28,8	40,2	48,1	7,1	2134
7		25	270	0,54	24,4	37,3	46,1	6,8	2071
8		30	270	0,58	21,1	34,3	44,7	6,2	2035
9	1,0	-	280	0,34	37,6	44,2	50,1	8,0	2215
10		20	280	0,34	36,5	46,1	51,1	8,9	2207
11		25	280	0,34	34,8	42,1	51,0	8,1	2189
12		30	275	0,38	30,1	39,8	49,2	7,7	2134
13	1,4	-	280	0,34	37,7	44,2	50,0	7,6	2214
14		20	280	0,34	36,4	46,1	50,1	8,8	2208
15		25	280	0,34	34,7	42,1	49,1	8,2	2188
16		30	280	0,38	30,2	39,8	48,1	7,6	2131

Анализ экспериментальных данных (табл. 1) показал, что поликарбоксилатный суперпластификатор (СП) является ключевым фактором обеспечения самоуплотняемости мелкозернистых бетонных смесей. В составах без СП, несмотря на повышение водоцементного отношения,

достичь требуемой подвижности не удалось. Попытки увеличить подвижность за счёт добавления воды привели к расслоению и водоотделению смеси (растекаемость 190–210 мм), что вызвало формирование неоднородной структуры и снижение прочности бетона. Таким образом, применение СП является необходимым условием получения качественных самоуплотняющихся бетонов.

После обработки полученных результатов и отсева незначимых коэффициентов уравнения регрессии были получены математические модели.

$$B/C=0,72-0,63X_1+0,25X_1^2-0,0026X_2+0,026X_2^2$$

$$R_1=9,61+42,94X_1-16,12X_1^2+0,27X_2-0,01X_2^2+0,037X_1X_2$$

$$R_7=28,03+42,09X_1-22,90X_1^2-0,46X_2-0,091X_2^2+0,52X_1X_2$$

$$R_{28}=45,23+29,02X_1-19,82X_1^2-1,025X_2-0,012X_2^2+0,84X_1X_2$$

$$R_{изз}=4,91+5,74X_1-2,76X_1^2+0,051X_2-0,04X_2^2+0,064X_1X_2$$

$$\rho=1932+543,5X_1-248,1X_1^2+0,25X_2-0,21X_2^2+2,99X_1X_2$$

Построенные математические модели, основанные на результатах проведённых исследований, позволили установить оптимальное соотношение компонентов мелкозернистого бетона для достижения требуемых показателей свойств. Установлено, что максимальные прочностные показатели достигаются при содержании СП 1,0% и ГФО 25% от массы цемента.

На рис. 6–11 представлены изографические зависимости, отражающие изменение основных физико-механических показателей самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей под воздействием варьируемых факторов — количества суперпластификатора (СП) и горелых формовочных отходов (ГФО). На приведённых диаграммах прослеживаются закономерности изменения водоцементного отношения, прочности при сжатии в возрасте 1, 7 и 28 суток, прочности при изгибе, а также средней плотности бетона. Полученные изографические поверхности позволяют визуализировать комплексное влияние исследуемых факторов и определить области оптимальных сочетаний, обеспечивающих достижение требуемых эксплуатационных свойств материала.

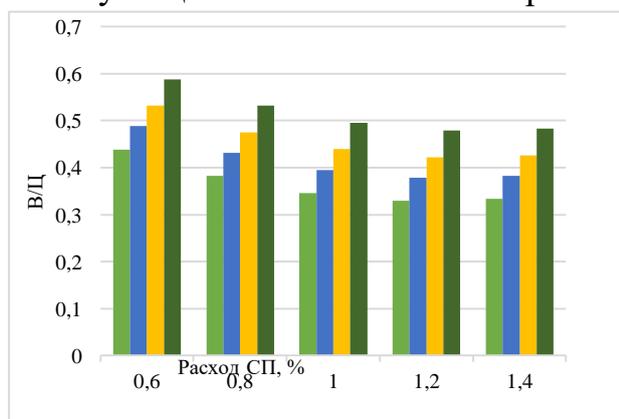


Рис. 6. Водно-цементное соотношение самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей в зависимости от содержания СП и ГФО в составе комплексной добавки

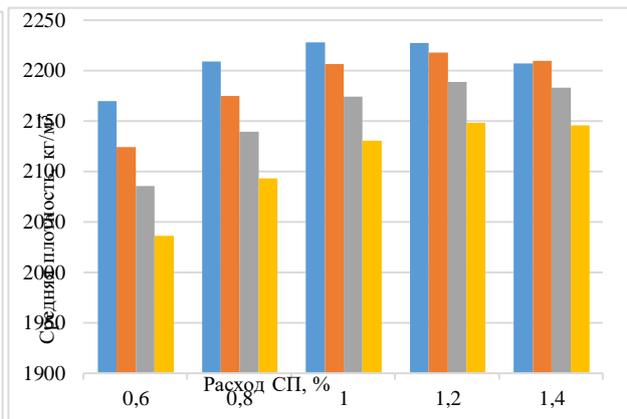


Рис. 7. Средняя плотность самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей в зависимости от содержания СП и ГФО в составе комплексной добавки

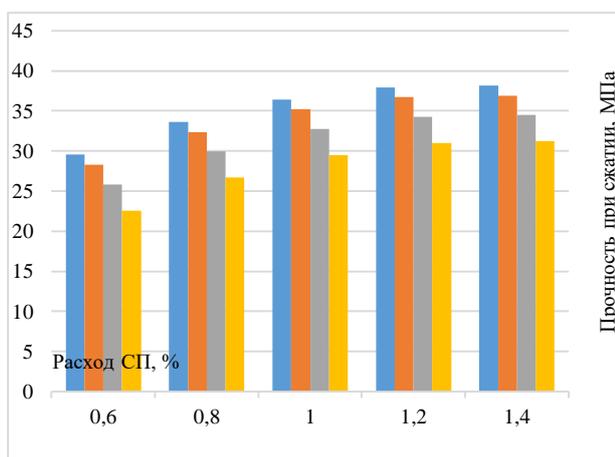


Рис. 8. Предел прочности на сжатие мелкозернистого бетона в 1-дневном возрасте в зависимости от содержания СП и ГФО в составе комплексной добавки

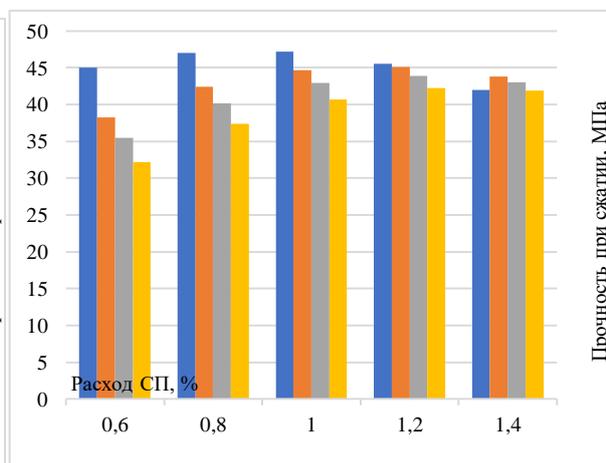


Рис. 9. Предел прочности на сжатие мелкозернистого бетона в 7-дневном возрасте в зависимости от содержания СП и ГФО в составе комплексной добавки

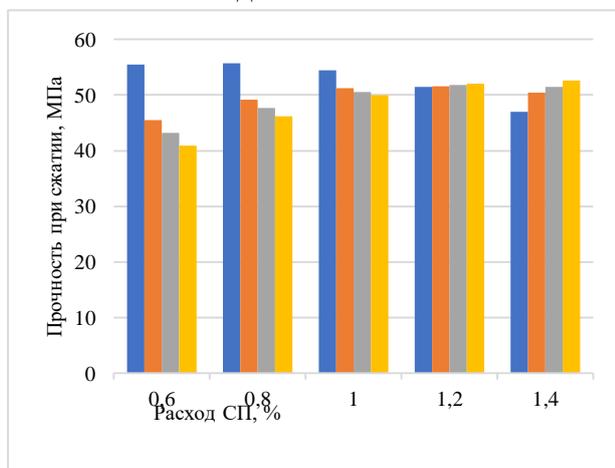


Рис. 10. Предел прочности на сжатие мелкозернистого бетона в 28-дневном возрасте в зависимости от содержания СП и ГФО в составе комплексной добавки

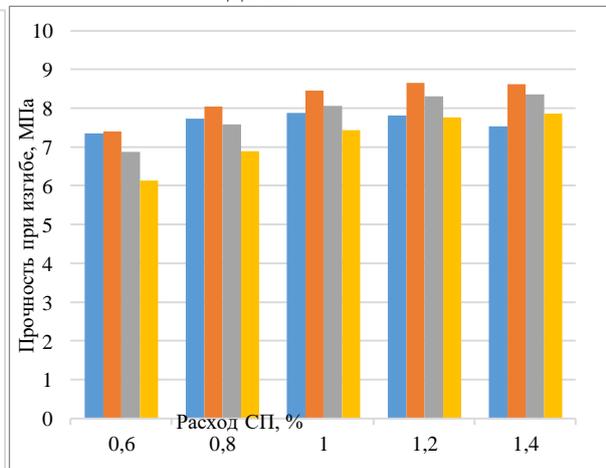


Рис. 11. Предел прочности при изгибе мелкозернистого бетона в 28-дневном возрасте в зависимости от содержания СП и ГФО в составе комплексной добавки

Построенные на основе экспериментальных данных математические модели позволили всесторонне проанализировать влияние варьируемых факторов — содержания СП и ГФО — на формирование физико-механических свойств самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов. Полученные уравнения регрессии характеризуются высокой степенью адекватности и воспроизводимости, что подтверждает достоверность разработанных моделей и их применимость для инженерных расчётов при проектировании составов аналогичных материалов.

Результаты анализа показали, что изменение содержания компонентов комплексной добавки оказывает нелинейное влияние на прочностные характеристики бетона. При этом выявлено, что оптимальные эксплуатационные свойства достигаются при рациональном соотношении исследуемых параметров, обеспечивающем баланс между подвижностью смеси и плотностью структуры цементного камня. В частности, установлено,

что максимальные прочностные показатели при сжатии и изгибе наблюдаются при содержании суперпластификатора на уровне 1,0 % и горелых формовочных отходов — 25 % от массы цемента.

Основными технологическими параметрами самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов являются сохраняемость подвижности и устойчивость к расслоению (рис. 12). Подробные составы исследованных смесей и их характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 2

Состав и свойства бетонных смесей с модифицирующими добавками

№	Цемент, кг	Песок, кг	Вода, л	ГФО, кг	СП, %	В/Ц	ОК, см
1	550	1375	275	-	-	0,51	П5 (≥20 см)
2	413	1597	190	-	1,0	0,34	
3	413	1460	190	137	1,0	0,34	

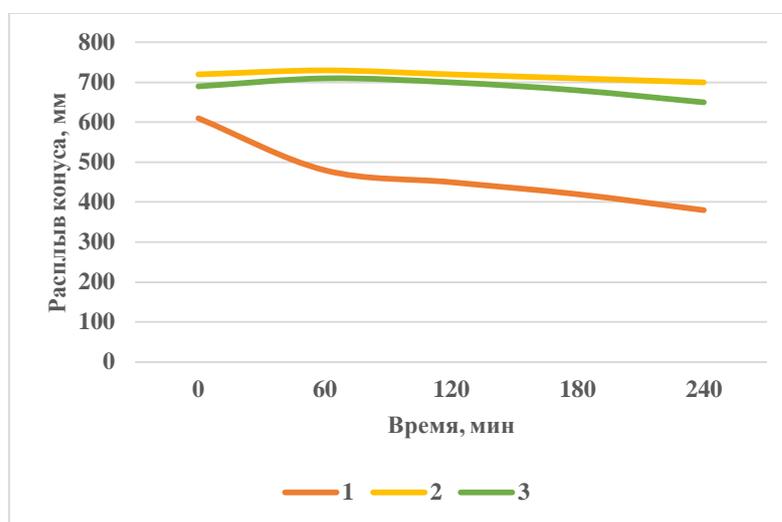


Рисунок 12. Изменение растекаемости бетонной смеси с течением времени в исследуемых составах

Испытания, проведённые при $(22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C})$ согласно ГОСТ 10181-2014 и ГОСТ 30459-2008, показали, что составы без добавок быстро теряют подвижность, становясь непригодными для применения. Введение СП обеспечивает длительное сохранение текучести за счёт стерического отталкивания частиц, а совместное использование СП и ГФО стабилизирует структуру смеси и снижает водоотделение. Применение комплексной добавки позволяет сохранить подвижность класса РК2 свыше 3 часов, улучшая однородность и обеспечивая возможность укладки без вибрационного уплотнения.

Основное отличие самоуплотняющихся бетонов от традиционных заключается в их особых реологических свойствах и высокой плотности упаковки частиц, обеспечивающих самостоятельное уплотнение под собственным весом без вибрации. Это позволяет равномерно заполнять опалубку и формировать плотную, бездефектную структуру.

Оценка свойств смесей проводилась по времени истечения через V-воронку и заполнению L-коробки в соответствии с нормативами (табл. 3).

Таблица 3

Допустимые отклонения показателей и показателей качества самоуплотняющихся бетонных смесей

Наименование показателя качества бетонной смеси	Интервал, в который попадает заданное значение показателя	Допустимое отклонение показателя от заданного значения	Составы		
			1	2	3
Средняя плотность, кг/м ³	2200-2600	±20	2225	2354	2306
Показатель вязкости с помощью V-образной воронки, с	9-25	±3	61	9	11
Показатель способности преодолевать препятствия при испытаниях с помощью L-образной коробки, с	По проекту	±0.05	Не удалось полностью преодолеть	6	10

Анализ табл. 3 показал, что модифицированные составы характеризуются временем истечения 9–11 секунд и обеспечивают оптимальную текучесть, тогда как у контрольного состава оно достигало 61 секунды. В тесте L-box модифицированные смеси показали время прохождения 6–19 секунд, что подтверждает их высокую подвижность и соответствие требованиям к самоуплотняющимся бетонам.

На следующем этапе было проведено исследование влияния комплексной добавки на физико-механические свойства самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов (табл. 4).

Таблица 4

Свойства бетона с модифицирующими добавками

№	Класс бетона	Призматическая прочность, МПа	Модуль упругости, 10 ³ , МПа	Водонепроницаемость, АТМ	Морозостойкость, цикл	Водопоглощения, %	
						а с с	б ь е м
Состав №1	В35	35,49	35,5	W8	300	6,1	14,2
Состав №2		38,7	35,8	W10	400	4,9	9,1
Состав №3		41,3	37,8	W12	450	4,5	8,3

Установлено, что введение добавки способствует повышению

прочностных и деформационных характеристик. Призматическая прочность ($f_{c,prism}$) состава №3 возросла на 14,6% по сравнению с контрольным (№1) и на 6,7% относительно состава №2. Модуль упругости (E_b) увеличился на 6,5% и 5,2% соответственно.

Применение комплексной добавки также повысило плотность бетона за счёт уменьшения капиллярной пористости, что привело к улучшению эксплуатационных характеристик. Морозостойкость возросла с F300 до F450, а водонепроницаемость — с W8 до W12. Водопоглощение снизилось с 6,1% до 4,5% по массе и с 14,2% до 8,3% по объёму, что подтверждает снижение пористости и улучшение долговечности материала.

Физико-механические свойства бетона, включая прочность, деформативность, проницаемость и морозостойкость, определяются его пористой структурой, зависящей от размеров, формы и объёма пор.

Для анализа пористой структуры использовался ртутный порозиметр Thermo Scientific Pascal 240. Образцы бетона (табл. 2), твердевшие 28 суток, после сушки при 105 °С подвергались вакуумной обработке и заполнению ртутью. На основе полученных порограмм (табл. 5) определены количественные характеристики пористой структуры исследуемых составов.

Таблица 5

Показатели пористой структуры исследуемых образцов

Наименование показателей	Состав №1	Состав №2	Состав №3
Относительный объём пор ($\text{мм}^3/\text{г}$):	51,11	44,12	41,78
Общая площадь пор ($\text{м}^2/\text{г}$)	5,16	4,822	4,3
Средний размер пор (мкм):	0,024	0,022	0,021
Общая пористость образцов, %	9,81	8,89	8,42

Результаты порозиметрического анализа трёх составов мелкозернистого бетона выявили закономерное улучшение пористой структуры при введении модифицирующих добавок. У состава №3, содержащего КД, общая пористость снизилась на 9,4% по сравнению с составом №2 и на 14,2% — с составом №1, что указывает на повышение плотности и уменьшение объёма пустот.

Относительный объём пор в составе №3 уменьшился до 41,78 $\text{мм}^3/\text{г}$, что на 18,2% и 5,3% ниже значений составов №1 и №2 соответственно. Средний размер пор составил 0,021 мкм — минимальное значение среди исследованных смесей. Снижение пористости и размера пор обеспечивает повышение плотности, прочности и морозостойкости бетона.

Таким образом, модифицирование состава способствует формированию более плотной, однородной структуры и обеспечивает улучшенные эксплуатационные характеристики материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов проведенных экспериментально-теоретических исследований по докторской (PhD) диссертации «Разработка

составов самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов с комплексно-модифицированным вяжущим» были сформулированы следующие выводы:

1. Установлено, что механическая активация ГФО в течение 30 минут обеспечивает достижение оптимальной удельной поверхности (до 4412 см²/г) и среднего размера частиц 5,4 мкм. Дальнейшее увеличение времени помола приводит к агломерации частиц и снижению их реакционной способности.

2. Совместное введение ГФО и поликарбоксилатного суперпластификатора способствует снижению структурной вязкости цементных суспензий на 34–41%, улучшая реологические свойства и удобоукладываемость смесей.

3. Разработанная комплексная добавка оптимального состава проявляет выраженную синергетическую активность: ускоряет гидратацию цемента, повышает образование низкоосновных гидросиликатов кальция (C–S–H) и снижает содержание портландита, что способствует формированию более плотной и стабильной структуры цементного камня.

4. Установлено, что оптимальный состав самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов достигается при содержании суперпластификатора 1,0% и механоактивированного ГФО — 25% от массы цемента. В результате обеспечивается снижение общей пористости на 14%, уменьшение среднего размера пор до 0,021 мкм, повышение водонепроницаемости с класса W8 до W12 и морозостойкости с F300 до F450 циклов.

5. Экспериментальные исследования показали, что комплексная добавка обеспечивает длительное сохранение подвижности смесей, устойчивость к расслоению и стабильность структуры при транспортировке и укладке без вибрационного уплотнения.

6. Разработанная технология внедрена на предприятии ООО «BUNYODKOR TEMIR-BETON INTER SERVIS». Внедрение позволило снизить расход цемента на 25%, повысить морозостойкость бетона в 1,5 раза и увеличить его водонепроницаемость на два класса. Экономический эффект составил 59,9 млн сум при объёме 500 м³. Прогнозируемая экономия при производстве 1000 м³ бетона составляет 119,8 млн сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.15/31.08.2022.T.73.04 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TRANSPORT
UNIVERSITY**

BUKHARA STATE TECHNICAL UNIVERSITY

TOSHEVA DILBAR FARKHODOVNA

**DEVELOPMENT OF SELF-COMPACTING FINE-GRAINED CONCRETE
COMPOSITIONS WITH A COMPLEX-MODIFIED BINDER**

05.09.05 – “Building materials and products”

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2025

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2025.4.PhD/T6078.

The dissertation has been prepared at the Bukhara state technical university.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tstu.uz) and on the website of "ZiyoNet" Information and educational portal (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: **Adilkhodjayev Anvar Ishanovich**
Doctor of technical sciences, Professor

Official opponents: **Hasanov Baxridin Baratovich**
doctor of technical sciences, professor
Amirov Tursoat Jumaevich
doctor of philosophy (PhD) on technical sciences, professor

Leading organization: **Jizzakh Polytechnic Institute**

The defense will be take place on "17" January 2026 year at 12⁰⁰ o'clock at the meeting of Scientific Council DSc.15/31.08.2022.T.73.04 at Tashkent state transport university. Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+99871) 299-00-01, fax: (99871) 293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz.

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Centre of the Tashkent state transport university (Registered number №.__). (Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan,1. Phone: (+99871) 299-05-66)

Abstract of the dissertation was distributed on "6" January 2026 year.
(mailingrecort № 30 on "5" January 2026 year.).

S.S. Shaumarov
Deputy Chairman of the Scientific Council for the award
the degree of Doctor of Science, DSc, Professor

U.Z. Shermukhamedov
Scientific secretary of the Scientific Council
for the awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, docent

A.A. Ishankhodjayev
Chairman of the scientific seminar of the Scientific Council
for the awarding of scientific degrees,
Doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The purpose of the study is to develop self-compacting fine-grained concrete compositions with improved performance properties based on Portland cement grade CEMI32.5H with a complex modifier based on a superplasticiser (SP) and mechanically activated burnt moulding waste (BMW) from metallurgical production.

Tasks of the research:

research into the structure formation of cement stone with a complex modifier based on SP and BMW;

optimisation of the composition of self-compacting fine-grained concrete mix with BMW and SP;

research into the technological factors of production and the physical and mechanical properties of self-compacting fine-grained concrete mixes and concretes modified with BMW and SP;

technical and economic justification of research results and testing in production.

The object of study is comprehensively modified self-compacting fine-grained concrete.

The scientific novelty of the study is as follows:

The working hypothesis has been confirmed that, using BMW as an active filler and taking into account the synergistic effect of polycarboxylate superplasticiser, it is possible to design self-compacting, complex-modified, fine-grained concrete with improved economical concrete compositions based on ordinary Portland cement CEMI32.5H;

it has been proven that due to the steric effect of the polycarboxylate superplasticiser, which promotes the uniform distribution of binder particles and prevents their agglomeration, as well as the presence of active centres on the surface of the mechanically activated BMW, a structurally stable, highly mobile system is ensured, resulting in a self-compacting fine-grained concrete mixture characterised by structural stability and an optimal combination of rheological and strength characteristics;

It has been proven that the use of mechanically activated BMW as a mineral filler activates the interaction of amorphous silica with calcium hydroxide, increases the pozzolanic activity of the medium, and, as a result, additional hydrate formations are formed, ensuring the compaction and strengthening of the cement stone structure.

It has been established that the use of a complex modifier based on SP and BMW, by reducing the amount of mixing water and intensifying the hydration processes, contributes to a decrease in the overall porosity of the cement stone with a reduction in the proportion of large capillary pores, which ultimately leads to an increase in the density and durability of cement concrete.

The subject of the study is the physical-mechanical, physical-chemical, and technical-economic indicators of self-compacting fine-grained concrete manufactured using SP and mechanically activated BMW.

Research methods. In the course of the research, modern methods of physico-chemical analysis, standardized methods for studying the properties and quality indicators of cement concrete, as well as mathematical methods for designing compositions and optimizing technological processes for manufacturing cement concrete, statistical methods for processing the analysis of experimental results were used.

Implementation of the research results. Based on the results of scientific research on the development of a composition of self-compacting crushed concrete based on a complex modified binder:

the scientific results obtained on the study of complex-modified concretes based on waste from the metallurgical industry and polycarboxylate superplasticizer have been implemented in the production of monolithic building structures from B35 class concrete at "BUNYODKOR TEMIR-BETON INTER SERVIS" LLC (certificate of the "Uzpromstroyaterialy" association No. 02/15-3766 dated November 17, 2025). In this case, a test batch of concrete mix with a volume of 1000 m³ was produced. As a result, the economic effect from the production of floor slabs amounted to 119.8 million soums;

the methodology for increasing cement consumption by 1.25 times, increasing frost resistance by 1.5 times, and water resistance to two classes based on the patterns of structure formation was introduced at "BUNYODKOR TEMIR-BETON INTER SERVIS" LLC in the production of monolithic building structures from B35 class concrete (certificate of the "Uzpromstroyaterialy" association No. 02/15-3766 dated November 17, 2025). In this case, a test batch of concrete mix with a volume of 500 m³ was produced. As a result, the economic effect from the production of columns and beams amounted to 59.9 million soums.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The total volume of the dissertation is 120 pages.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. I.Kadirov, B.Amonov, D.Tosheva, A.Baratov // Some Aspects of the Technology of Continuous Formulation of Reinforced Concrete Products // Journal of Advanced Research and Scientific Progress (JARSP) Volume: 02 Issue: 03 | 2023 ISSN: 2751-7551, p 121-123 (05.00.00 OAK 3-bet, ResearchBib (14)).
2. Adikhodjayev A.I., Kadirov I.A., Kudratov B.Sh, Tosheva D.F., Atoev A.A., Choriyev A.A. On carbonation corrosion of modified concretes Using microwaves // Miasto Przyszłości, Kielce 2023 Impact Factor: 9.9 ISSN-L: 2544-980X (05.00.00 OAK 3-bet, Index Copernicus (12)).
3. A.Adilxodjayev, I.Kadirov, D.Tosheva, M.Rajabov, I.Umarov // Development of a new generation of concrete mixtures based on a technogenic microfiller and a polifunctional additive for low and non-heat-free technologies of making reinforced concrete products // Journal of transport Scientific-technical and scientific innovation journal ISSN: 2181-2438 Volume:2|Issue:4|2025, p 126-134 (05.00.00 OAK 3-bet, ResearchBib (14)).
4. A.Adilxodjayev, I.Kadirov, M.Rajabov, I.Umarov // Optimisation of the composition of comprehensively modified self-compacting fine-grained concrete mixtures for vibration-free and low-vibration construction technologies // Engineer International scientific journal Issn: 3030-3893 volume:3| issue:4| 2025, p 45-50 (05.00.00, №11).
5. A.Adilxodjayev, I.Kadirov, D.Tosheva // On the issue of mechanical activation of burnt moulding waste // Engineer International scientific journal ISSN: 3030-3893 Volume:3| Issue:3| 2025, p 38-42 (05.00.00, №11).
6. A.Adilxodjayev, I.Kadirov, D.Tosheva // Study of the effect of filler from burnt moulding waste on the properties of cement systems // Engineer International scientific journal ISSN: 3030-3893 Volume:3| Issue:3| 2025, p 43-48 (05.00.00, №11).
7. A.Adilxodjayev, I.Kadirov, D.Tosheva // The effect of burnt moulding waste on the hydration and structure formation processes of portland cement // Engineer International scientific journal ISSN: 3030-3893 Volume:3| Issue:3| 2025, p 49-54 (05.00.00, №11).

II bo'lim (II часть; II part)

8. Адилходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Умаров К.С., Шаумаров С.С., Кадиров И.А., Кудратов Б.Ш., Азимов Д.Т., Тошева Д.Ф., Раджапов М.З., Умаров И.И. «Композиционное вяжущее». Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Патент на изобретения №IAP 7709 от 06.03.2024 г.
9. Адилходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Умаров К.С., Шаумаров С.С.,

- Кадиров И.А., Кудратов Б.Ш., Азимов Д.Т., Тошева Д.Ф., Раджапов М.З., Умаров И.И. «Комплексная органоминеральная добавка для бетонной смеси» Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Патент на изобретения №IAP 7876 от 06.03.2024 г.
10. Адилходжаев А.И., Махаматалиев И.М., Умаров К.С., Шаумаров С.С., Кадиров И.А., Азимов Д.Т. Бетонная смесь. Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. Патент на изобретения №IAP 7752 от 11.07.2024 г.
 11. A.Adilxodjayev, I.Kadirov, M.Rajabov, I.Umarov // Prospects and hypotheses: multicomponent systems and targeted structure management // "Conference on Universal Science Research 2023", 3(8), 32-34.
 12. A.Adilxodjayev, I.Kadirov, M.Rajabov, I.Umarov // Environmental and economic challenges of the cement industry and the path to sustainable development // International conference on Medicine, science, and education Volume 02, issue 09, 2025, p 8-11.
 13. A.Adilxodjayev, I.Kadirov, M.Rajabov, I.Umarov // Mechanisms of action of finely dispersed aggregates in cement systems // International conference of natural and social-humanitarian sciences, Belgium, brussels Volume 02, issue 07, 2025 , p 37-41.
 14. A.Adilxodjayev, I.Kadirov, M.Rajabov, I.Umarov // Classification and comparative analysis of the effectiveness of finely dispersed fillers // "Fan, ta'lim, texnologiya va ishlab chiqarish integratsiyasi asosida rivojlanish istiqbollari" jurnali VOLUME-2, ISSUE-8,18-22 b.

Avtoreferat «TDTU xabarları» ilmiy-texnik jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazilib, o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o'zaro muvofiqlashtirildi.

Bosishga ruxsat etildi. Bichimi 60x84 1/16.

Raqamli bosma usuli. Times garniturası.

Shartli bosma tabog'i: 3 b.t.. Adadi: 80, Buyurtma _____

“TDTU Tahririy nashriyot va poligrafiya bo'limi” bosmaxonasida chop yetilgan.

Bosmaxona manzili: 100167, Toshkent sh., Temiryo'chilar ko'chasi, 1-uy.

