

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

---

**TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI**

**ABDAZOV DILSHOD RAXMADJON O‘G‘LI**

**MAHALLIY XOMASHYO ASOSIDAGI O‘Z-O‘ZIDAN ZICHLASHUVCHI**  
**BETON**

**05.09.05 – Qurilish materiallari va buyumlari**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertasiyasi**

**AVTOREFERATI**

**Toshkent– 2025**

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

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

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

<b>Abdazov Dilshod Rahmadjon o‘g‘li</b> <b>Mahalliy xomashyo asosidagi o‘z-o‘zidan zichlashuvchi</b> <b>beton.....</b>	3
<b>Абдазов Дилшод Рахмаджон ўғли</b> <b>Самоуплотняющийся бетон на основе местного</b> <b>сырья.....</b>	21
<b>Abdazov Dilshod Rahmadjon o‘g‘li</b> <b>Self-compacting concrete based on local raw</b> <b>material .....</b>	39
<b>E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati</b> <b>Список опубликованных работ</b> <b>List of published works.....</b>	42

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

---

**TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI**

**ABDAZOV DILSHOD RAXMADJON O'G'LI**

**MAHALLIY XOMASHYO ASOSIDAGI O'Z-O'ZIDAN ZICHLASHUVCHI**  
**BETON**

**05.09.05 – Qurilish materiallari va buyumlari**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertasiyasi**

**AVTOREFERATI**

**Toshkent– 2025**

**Falsafa doktori (PhD) dissertasiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovasiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestasiya komissiyasida B2024.2.PhD/T4761 raqam bilan ro’yxatga olingan.**

Dissertasiya Toshkent arxitektura-qurilish universitetida bajarilgan.

Dissertasiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)), Ilmiy kengash veb-sahifasida ([www.taqu.uz](http://www.taqu.uz)) va «Ziyonet» Axborot-ta’lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Kamilov Xabibilla Xamidovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Soy Vladimir Mixaylovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Sottiqulov Elyor Sotimboevich**  
texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim

**Etakchi tashkilot:**

**Farg’ona davlat texnika universiteti**

Dissertasiya himoyasi Toshkent arxitektura-qurilish universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc. 26/30.12.2019 T 11.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil 30-may soat 10<sup>00</sup> dagi majlisida bo’lib o’tadi. (Manzil: 100194, Toshkent sh., Yunusobod tumani, Yangishahar, 9-uy, 4-bino, 5-qavat, faollar zali, tel : (99855) 508 02 95; faks: (99855) 508 50 06, e-mail: [devon@taqu.uz](mailto:devon@taqu.uz)).

Dissertasiya bilan Toshkent arxitektura-qurilish universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№148 raqami bilan ro’yxatga olingan). (Manzil: 100194, Toshkent sh., Yunusobod tumani, Yangi shahar, 9-uy. Tel (99855) 508 02 95; faks: (99855) 508 50 06. e-mail: [devon@taqu.uz](mailto:devon@taqu.uz))

Dissertasiya avtoreferati 2025-yil 17-may kuni tarqatildi.  
(2025-yil 17-martdagi 54 - raqamli reestr bayonnomasi).

**X.A. Akramov**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash raisi, t.f.d., professor

**I.I. Siddiqov**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash ilmiy kotibi t.f.d., dotsent

**B.A. Asqarov**

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

## KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertasiyasining annotasiyasi)

**Dissertasiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda beton zamonaviy qurilishning eng muhim va keng qo'llaniladigan qurilish materiallaridan biri hisoblanadi hamda yillik ishlab chiqarish hajmi 14 milliard m<sup>3</sup> dan ortiqni tashkil etadi.<sup>1</sup> Rivojlangan davlatlar, xususan AQSH, Yaponiya, Xitoy, Hindiston, Germaniya, Fransiya kabi mamlakatlar qurilish sanoatida, xususan beton va temir-beton konstruksiyalarini ishlab chiqarish jarayonida resurs va energiya tejamkor, ekologik xavfsiz innovatsion texnologiyalarni ishlab chiqish va amaliyotga joriy etishda yetakchilik qilmoqda. Shu nuqtai nazardan qaralganda, mahalliy xom ashyolar va sanoat chiqindilari asosida, hech qanday tashqi mexanik zichlashtirish talab qilmaydigan, yuqori darajada zichlikka ega, mustahkamligi yuqori, murakkab geometrik shakldagi qoliplarga oson to'ldiriluvchi, ishlov berish jihatidan qulay bo'lgan yuqori sifatli beton tarkiblarini yaratish va ularning ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish ilmiy-texnik izlanishlarning ustuvor yo'nalishlaridan biri bo'lib, unga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonning yetakchi oliy ta'lim muassasalari va ilmiy-tadqiqot markazlarida yuqori qurilish-texnik va ekspluatatsion xossalarga ega bo'lgan betonlarning fizik-mexanik xususiyatlarini yanada takomillashtirish, shuningdek, ularni ishlab chiqarishning zamonaviy, samaradorligi yuqori texnologiyalarini yaratishga qaratilgan fundamental va amaliy ilmiy-tadqiqot ishlari izchil olib borilmoqda. Bu yo'nalishda yuqori texnologik betonlarni yaratishda mahalliy hamda sanoat chiqindilari kabi ikkilamchi xom ashyolardan foydalanish, beton tarkibini ilmiy asosda optimallashtirish, kimyoviy va mineral qo'shimchalar yordamida ularni modifikatsiyalash orqali qotish kinetikasini nazorat qilish, struktura hosil qilish jarayonlarini boshqarish va natijada materialning ekspluatatsion xossalarini oshirish imkonini beruvchi energiya va resurs tejamkor ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish dolzarb ilmiy va amaliy vazifalardan biri sanaladi.

Respublikamizda qurilish materiallari ishlab chiqarish tarmog'ini jadal rivojlantirish va diversifikatsiya qilish uchun qulay shart-sharoitlar yaratish, mahalliy mineral xom ashyo resurslarini qayta ishlashga investisiyalarni jalb qilish va qurilish materiallari sohasida ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish va ularning samaradorligini oshirish masalalariga alohida e'tibor qaratilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022 - 2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi Farmonida «... sanoat tarmoqlarida yo'qotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish ...»<sup>2</sup> muhim vazifalari belgilangan. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan, mahalliy xom ashyo va sanoat chiqindilaridan foydalanib, o'z-o'zidan zichlashuvchi beton tarkiblari va texnologiyasini ishlab chiqishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etadi.

---

<sup>1</sup> [www.gccassociation.org](http://www.gccassociation.org)

<sup>2</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022 - 2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi [Farmoni](#)

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son «2022 – 2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni, 2022 yil 2 dekabrda PQ-436-son «2030 yilgacha O'zbekiston Respublikasining «Yashil» iqtisodiyotga o'tishiga qaratilgan islohotlar samaradorligini oshirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida»gi, 2022 yil 6 iyuldagi PQ-307-son «2022-2026 yillarda O'zbekiston Respublikasining innovatsion rivojlanish strategiyasini amalga oshirish bo'yicha tashkiliy chora-tadbirlar to'g'risida»gi, 2019 yil 23 maydagi PQ-4335-son «Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida»gi Qarorlari hamda shu sohaga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda mazkur tadqiqot muayyan darajada xizmat qiladi.

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

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** O'z-o'zidan zichlashuvchi betonlarni yaratish va tadqiqoti bilan H. Okamura, M. Ouchi, K. Maekawa, K. Ozawa, M. Hayakawa, G. De Schutter, P.J.M. Bartos, P. Domone, J. Gibbs, K.H. Hayat, D.L. Marrs, M. Sonebi, S.P. Shah, M. Grauers, O. Patterson, A. Skarendal, O.H. Vellick, V. Ramachandran, I. Nielson, V. Boel, S.I. Gudier, G. Audinert, N. De Belie, A. Santamaria, P. Chandar, J. Jakowska-Lemanska, undan tashqari B.П. Углов, A.В. Жигулев, A.М. Попов, П.П. Кузмин, M.C. Васильев va boshqa ko'plab etakchi olimlar shug'ullanganlar. Ushbu tadqiqotchilar bajarilgan ilmiy tadqiqotlarini o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlarning tarkiblari va ishlab chiqarish texnologiyalarini yaratish, gidratsiya va struktura hosil bo'lishini boshqarish; struktura shakllanishining fizik-kimyoviy asoslari bilan bog'liq ustuvor yo'nalishlarda amalga oshirilgan.

Respublikamizda mahalliy xom ashyo materiallar asosidagi betonlarning tarkiblari va texnologiyalarini ishlab chiqish, kimyoviy va mineral qo'shimchalar bilan modifikatsiyalab betonlarning reologik xossalarini, shu bilan bir qatorda fizik va mexanik xossalarini yaxshilash, tarkiblarini optimallashtirish, ularni ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish masalalari bo'yicha E.U. Qosimov, M.Q. Tohirov, N.A. Samig'ov, A.I. Odilxo'jaev, S.A. Xodjaev, B.B. Xasanov, R.D. Teshabaev, A.A. Tulaganov, I.M. Maxamataliev, V.M. Soy, X.X. Kamilov va boshqalar turli yillarda ilmiy-tadqiqot ishlari olib borganlar.

Amalga oshirilgan ishlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, mahalliy ikkilamchi xom ashyo asosida o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlarning tarkiblarini yaratishga qaratilgan ilmiy izlanishlar olib borilmagan. Aynan shu xolat mazkur dissertasiyaning mavzusini tanlash, uning maqsad va vazifalarini belgilashda asos bo'lib xizmat qildi.

**Dissertasiya tadqiqotining dissertasiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarini bilan bog'liqligi.** Dissertasiya tadqiqoti Toshkent arxitektura-qurilish universitetining «Qurilish materiallari va konstruksiyalari texnologiyasi» kafedrasining «Mahalliy xom ashyo va sanoat chiqindilari asosida qurilish materiallari, to'ldiruvchilar va ular asosida qurilish

konstruksiyalar va devor panellarini loyihalash” bosh ilmiy yo’nalish mavzusi ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** mahalliy xomashyolardan foydalanib o’z-o’zidan zichlashuvchi betonlarning tarkiblarini ishlab chiqish va ularning xossalarini tadqiq etishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

mineral qo’shimcha sifatida foydalaniladigan materiallarning putsolan faolligini aniqlash;

kimyoviy qo’shimchalarning turlarini aniqlash va o’z-o’zidan zichlashuvchi beton tayyorlash uchun maqbulini tanlab olish;

superplastifikatorlarning sement pastasining reologik va fizik-kimyoviy xususiyatlariga ta’sirini aniqlash;

o’z-o’zidan zichlashuvchi beton qorishmalarining reologik xossalarini yaxshilash uchun mineral qo’shimchalar va superplastifikatorlarning optimal miqdorini aniqlash;

o’z-o’zidan zichlashuvchi beton tarkibini ishlab chiqish va optimallashtirish;

o’z-o’zidan zichlashuvchi betonning xossalarini tadqiq etish.

**Tadqiqotning ob’ekti** sifatida superplastifikator va mineral qo’shimchalar bilan modifikasiyalangan mahalliy xomashyo asosidagi o’z-o’zidan zichlashuvchi betonlar olingan.

**Tadqiqotning predmetini** o’z-o’zidan zichlashuvchi betonlarning tarkibi, fizik-mexanik, fizik-kimyoviy va texnologik xossalari tashkil etadi.

**Tadqiqotning usullari.** O’z-o’zidan zichlashuvchi beton tarkiblarini ishlab chiqishda fizik-kimyoviy fizik-kimyoviy tahlilning zamonaviy usullaridan: struktura hosil bo’lishini rentgen-strukturaviy tahlil, funksional guruhlarini o’zgarishini IQ-spektroskopiya, Raman spektrometriyasi, sement gidratatsiyasining izotermik jarayonlarini izotermik titratsion kalorimetriya, Zeta-potensial va olingan tarkiblarning fizik-mexanik xossalarini o’rganishda standartlashtirilgan usullaridan hamda o’z-o’zidan zichlashuvchi betonning tarkibini optimallashtirishda matematik modellashtirish usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

foydalanilgan mineral qo’shimchalar putsolan faolligiga ko’ra quyidagi «mikrokremnezem > metakaolin > kul-toshqol aralashmasi > uchuvchan kul» ketma-ketlikda joylashishi va  $\text{Ca(OH)}_2$  ni mos ravishda 475.86, 293.16, 195.56, 190.26 mg/g yutishi aniqlangan;

PR-196 superplastifikatorining sement gidratatsiyasiga ta’siri turli vaqt davomida qotgan sement toshlarining IQ-spektrogrammalari va rentgen diffraktogrammalarini tahlil qilish orqali sement toshi strukturasi hosil bo’lish mexanizmi aniqlangan;

portlandsement zarralari, superplastifikator va suvdan tashkil topgan suspenziyadagi sement zarralari orasidagi zeta potensial qiymati -3,3 mV ekanligini aniqlash natijasida PR-196 superplastifikatori nafaqat sterik, balki elektrostatik ta’sir mexanizmiga ham ega ekanligi aniqlangan;

rentgen fazaviy va IQ-spektroskopiya tahlillari natijasida «portlandsement-PR-196 superplastifikatori-suv» tizimi asosidagi sement toshida klinker minerallarining

gidratatsiya kinetikasi va yangi minerallarning hosil bo'lish mexanizmiga plastifikatorning miqdori sement massasiga nisbatan 0,8% bo'lganda optimal ko'rsatkichlarga erishilishi aniqlangan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

mahalliy xom ashyo va ikkilamchi materiallardan foydalangan holda o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlarning tarkiblari ishlab chiqilgan;

mahalliy xom ashyo va ikkilamchi materiallardan o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlar ishlab chiqarish uchun komponentlarni tanlashning mezonlari ishlab chiqilgan;

portlandsement, faol mineral qo'shimchalar va PR-196 superplastifikatoridan foydalanib o'z-o'zidan zichlashuvchi betonning energiya samarador tarkiblari takomillashtirilgan.

mahalliy xom ashyo va ikkilamchi materiallardan asosida B65 sinfdagi o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlar ishlab chiqarishga erishilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi eksperimental tadqiqotlar kompleksining zamonaviy uslub va vositalardan foydalangan holda o'tkazilganligi, nazariy va eksperimental tadqiqotlar natijalarining yuqori darajada mutanosibli, eksperimental ma'lumotlarni qayta ishlashda matematik statistikaning sinalgan usullaridan foydalanilganligi hamda o'z-o'zidan zichlashuvchi beton tarkiblarini amaliyotga joriy qilishda ijobiy natijalarga erishilganligi bilan tasdiqlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqotlar natijalarining ilmiy ahamiyati mahalliy xom ashyo va ikkilamchi resurslar asosidagi o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlarda polikarboksilatli superplastifikator va faol mineral qo'shimchalar ishtirokidagi gidratatsiya jarayoni va strukturasi shakllanishi, shu bilan birga betonning qotish davrida uning fizik va mexanik shuningdek ekspluatasion xossalari tadqiq etilganligi xamda olingan ijobiy natijalar betonshunoslik nazariyasi va amaliyotini rivojlantirish uchun muhim o'rin tutishi bilan izohlanadi.

Tadqiqotlar natijalarining amaliy ahamiyati o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlar tarkibidagi mineral va kimyoviy qo'shimchalarni sifat jixatidan ilmiy asoslangan xolda tanlab olinishi, mahalliy xom ashyo va ikkilamchi resurslar asosida yuqori fizik-mexanik va ekspluatasion xossalarga ega bo'lgan o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlarining optimal tarkiblarini ishlab chiqilgani va ishlab chiqarishga joriy etilgani bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Mahalliy xom ashyo asosidagi o'z-o'zidan zichlashuvchi beton bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

portlandsement, granit chaqiq toshi, qum, putsolan qo'shimchalar va superplastifikator asosida o'z-o'zidan zichlashuvchi beton tarkiblari "Aysel Inshaat" MCHJda joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi O'zsanoatqurilishmateriallari uyushmasining 2024 yil 24-noyabrdagi 02/15-3584-son ma'lumotnomasi). Natijada siqilishdagi mustahkamligi 72,2 MPa bo'lgan o'z-o'zidan zichlashuvchi beton olishga erishilgan;

portlandsement, granit chaqiq toshi, qum, putsolan qo'shimchalar va superplastifikator asosida o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlar olish texnologiyasi asosida yuqori mustahkam beton tarkiblari "DURABLE STONE" MCHJda joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi O'z sanoatqurilish materiallari uyushmasining 2024 yil 24-noyabrdagi 02/15-3584-son ma'lumotnomasi). Natijada siqilishdagi mustahkamligi 85,4 MPa bo'lgan o'z-o'zidan zichlashuvchi beton olishga erishilgan;

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Ushbu tadqiqot natijalari aprobatsiyadan o'tgan bo'lib, 4 ta xalqaro va 2 ta respublika ilmiy-texnik hamda ilmiy-amaliy konferensiyalarida ma'ruza sifatida taqdim etilgan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon kilinishi.** Dissertasiya mavzusi bo'yicha jami 14 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestasiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertasiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 8 ta maqola: jumladan, 3 tasi respublika va 5 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

**Dissertasiyaning tarkibi va xajmi.** Dissertasiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat bo'lib, dissertasiyaning hajmi 119 betni tashkil etdi.

## DISSERTASIYANING ASOSIY MAZMUNI

Tadqiqotning **kirish** qismida mavzuning dolzarbligi asoslangan, maqsad va vazifalar, tadqiqot ob'ekti va predmeti aniqlangan. Shuningdek, tadqiqotning ilm-fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mos kelishi ko'rsatilgan, ilmiy yangilik va amaliy natijalar bayon etilgan. Bundan tashqari, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, ularning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan. Tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi, aprobatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi haqida ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertasiyaning «**O'z-o'zidan zichlanuvchi betonlar sohasidagi tadqiqotlarning zamonaviy holati**» deb nomlangan birinchi bobida ko'rib chiqilayotgan mavzu bo'yicha ilmiy tadqiqotlarning tahliliy sharhi keltirilgan.

Adabiyot manbalarining tahlili asosida polikarboksilatli superplastifikatorlarning ta'sir mexanizmlari batafsil ko'rib chiqilgan. Ular suvsement nisbatini kamaytirish, betonning reologik xususiyatlarini yaxshilash va uning mexanik mustahkamligini oshirishni ta'minlaydi. Shuningdek, superplastifikatorlarning mineral qo'shimchalar bilan o'zaro ta'sir xususiyatlari va ularning beton aralashmalarining xususiyatlariga ta'siri tahlil qilingan.

O'z-o'zidan zichlashuvchi betonlarni tarkiblarini loyihalash tamoyillari, ularning yuqori oquvchanligi, segregasiyaga chidamliligi va o'z-o'zidan zichlanish qobiliyati o'rganilgan. Ayniqsa, quyuvq armaturalangan va materialning bir xilligi talab qilinadigan murakkab konstruksiyalarda o'z-o'zidan zichlashuvchi betonlarni qo'llanilishiga alohida e'tibor qaratilgan.

O'tkazilgan tadqiqotlar va adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, hozirgi vaqtda superplastifikator va mikrokremnezem asosidagi kompleks qo'shimchanning gidratasiya jarayonlarining kechishiga, struktura shakllanishiga va sement kompozitining xususiyatlariga ta'siri etarlicha o'rganilmagan.

Qo'yilgan vazifalarni amalga oshirish doirasida quyidagi **ishchi gipoteza** shakllantirildi: mikrokremnezem, uchuvchi kul va polikarboksilatli superplastifikatorlar qo'shilishi gidratasiya fazalarining shakllanishini tezlashtiradi, sement toshining zichligi va mexanik mustahkamligini oshiradi, suv-sement nisbatini kamaytiradi va beton aralashmalarining yoyiluvchanligini yaxshilaydi, bu esa o'z-o'zidan zichlashuvchi betonning yuqori mustahkamligi va uzoq muddatga chidamliligini ta'minlaydi.

Dissertasiyaning **“Xomashyo materiallarining tavsifi va tadqiqot usullari”** deb nomlangan ikkinchi bobida ishlatilgan dastlabki xomashyo materiallarining xususiyatlari hamda eksperimental tajribalarni o'tkazishda qo'llangan tadqiqot usullari keltirilgan.

Ilmiy tadqiqot ishida sement kompozitsiyalarini tayyorlash uchun **“Qizilqumsement”** AJ da ishlab chiqarilgan CEM I 42,5N portlandsementi ishlatilgan.

Mineral qo'shimcha sifatida mikrokremnezem (MK), uchuvchan kul (UK), metakaolin (MTK) va kul toshqol aralashmasi (KTA) ishlatildi, kimyoviy qo'shimcha sifatida esa polikarboksilat efirlari asosidagi PR-196 va RS-1, sulfonaftalin formaldegid asosidagi Polyplast 956 hamda lignosulfonat va polikarboksilat asosidagi Chryso Delta 6328 superplastifikatorlari qo'llanildi.

Tadqiqotlarda standartlashtirilgan usullar bilan bir qatorda zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullari, shuningdek, etakchi xorijiy ilmiy-tadqiqot institutlari mutaxassislari tomonidan ishlab chiqilgan nostandart metodikalar qo'llanildi.

Mineral qo'shimchalarning dispersligi ularning solishtirma sirt yuzasi bo'yicha baholandi, bu esa ПСХ-11А asbobida Kozeni-Karma gaz o'tkazuvchanlik usuli yordamida aniqlangan. Sement xamirining qotish vaqtlari va normal quyugligi Vika asbobida aniqlandi. Sement suspenziyalarining reologik xususiyatlari mini-konus metodikasi bo'yicha belgilandi. Superplastifikatorlarning tuzilishi Raman spektroskopiyasi, infraqizil spektroskopiya va gel o'tkazuvchi xromatografiya yordamida o'rganildi. Gidratatsiya kinetikasi rentgenofazaviy tahlil yordamida tadqiq qilindi.

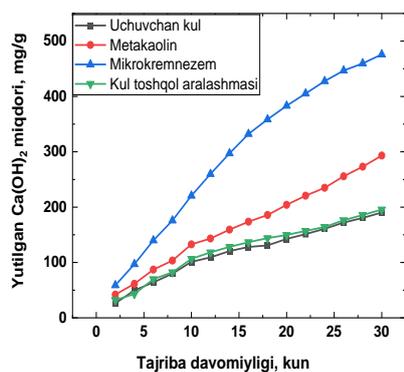
Dissertasiyaning uchinchi **“Modifikasiyalovchi qo'shimchalarning sement xamiri va toshining xususiyatlariga ta'sir qilish xususiyatlari”** deb nomlangan bobi bajarilgan eksperimental tadqiqotlar natijalariga bag'ishlangan. Ushbu tadqiqotlar doirasida superplastifikator turini aniqlash, putsolan faollikni baholash hamda portlandsementning superplastifikatorlar bilan gidratasiya kinetikasini o'rganish amalga oshirildi.

Tadqiqot davomida turli plastifikatorlarning o'z-o'zidan zichlashuvchi beton xususiyatlariga ta'siri asosida ularning turlari fizik-kimyoviy usullar yordamida aniqlandi. Ushbu plastifikatorlarning sement gidratasiyasiga ta'siri o'rganildi hamda ularni qo'llash uchun optimal dozalari belgilandi.

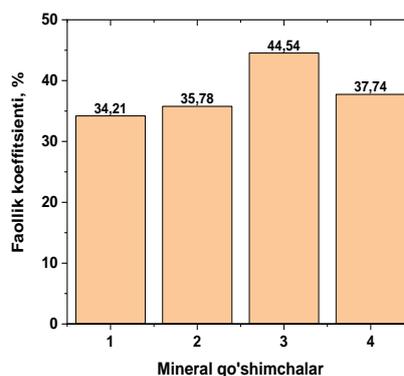
Tahlillar natijasida aniqlanishicha, PR-196 tarkibida karboksil, efir, gidroksil va uglevodorod fragmentlari mavjud bo'lib, bu spektral tahlil orqali tasdiqlangan. Uning molekulyar massasi 12,6 kDa bo'lib, sement xamirining sterik stabilizatsiyasini ta'minlaydi. RS-1 tarkibida aromatik fragmentlar va karboksil guruhlari mavjud bo'lib, 10 kDa va 1,8 kDa molekulyar fraksiyalar sement zarrachalarining barqaror

dispersiyasini hamda tezlashgan boshlang'ich oquvchanlikni ta'minlaydi. Polyplast 956 esa 15,8 kDa yuqori molekulyar fraksiyaga ega bo'lib, sterik stabilizatsiyani ta'minlaydi, shuningdek, 4 kDa past molekulyar fraksiyasi boshlang'ich suyuqlikni oshirish va gidratatsiyani nazorat qilish uchun xizmat qiladi.

Aniqlanishicha, mineral qo'shimchalarning putsolan faolligi orasida mikrokremnezem eng yuqori putsolan faollikka ega. Bu uning yuqori o'ziga xos solishtirma sirt yuzasi (23328 sm<sup>2</sup>/g) hamda tarkibidagi amorf kremnezemning yuqori miqdori bilan bog'liq bo'lib, u kalsiy gidroksidi bilan faol o'zaro ta'sir qiladi.



1-rasm. qo'shimchalarga Ca(OH)<sub>2</sub> ning yutilgan miqdori



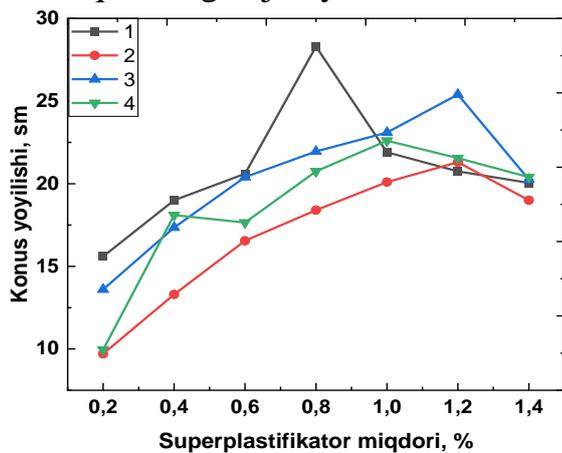
2-rasm. Mineral qo'shimchalarning faollik koeffitsienti: 1 – UK, 2 – MTK, 3 – MK, 4 – KTA

Uchuvchan kul va metakaolin (2-rasm) o'xshash faollik koeffitsientiga ega bo'lib, mos ravishda 34,21% va 35,78% ni tashkil etdi, bu esa ushbu materiallarni faol qo'shimchalar sifatida tasniflash imkonini beradi ( $K_a$  21% dan 50% gacha bo'lgan diapazonda). Kul toshqol aralashmasi esa 37,74% faollik koeffitsientiga ega ekanligi aniqlandi.

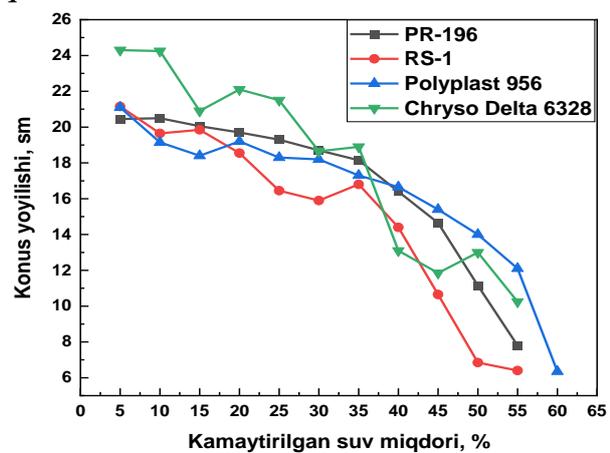
Uchta boshqa materialdan farqli o'laroq, mikrokremnezem ancha yuqori faollik darajasini namoyon etdi, uning faollik koeffitsienti 89,18% ni tashkil etdi. Bu esa uni "yuqori faol" material sifatida tasniflash imkonini beradi ( $K_a$  51% dan 100% va undan yuqori diapazonda).

Grafikda (3-rasm) mini-konus yordamida o'lichangan superplastifikatorlar– PR-196, RS-1, Polyplast 956 va Chryso Delta 6328 uchun konus yoyilish ko'rsatkichlari aks ettirilgan. Ushbu parametr yoyilish darajasi va superplastifikatorning suv-sement nisbatini kamaytirish qobiliyatini harakatlanuvchanlikni saqlab qolgan holda tavsiflaydi. PR-196 maksimal yoyiluvchanlikka ega bo'lib, bu uning kuchli elektrostatik itarilish ta'siri va yorqin ifodalangan sterik effektini ko'rsatadi. RS-1 esa egri chizig'ining yanada silliq o'sishi va oxirida plato holatida barqarorlikka erishishi bilan ajralib turadi, bu esa uning uzoq muddatli yoyiluvchanlikni saqlab qolish xususiyatiga ega ekanligini bildiradi. Polyplast 956 oquvchanlikning barqaror o'sishini namoyish etib, oraliq bosqichlarda yuqori qiymatlarni ko'rsatadi, bu esa uning yoyiluvchanlik samarali saqlab turishini tasdiqlaydi. Chryso Delta 6328 esa eng past oquvchanlik ko'rsatkichiga ega bo'lib, tezda plato holatiga etadi va nisbatan past oquvchanlikni saqlab turadi. Taqqoslash tahlili shuni ko'rsatadiki, PR-196

maksimal yoyiluvchanlik bo'yicha eng samarali, RS-1 va Polyplast 956 uzoq muddatli suyuqlikni ta'minlaydi, Chryso Delta 6328 esa yuqori harakatlanuvchanlik talab qilinadigan jarayonlar uchun kamroq mos kelishi mumkin.



3-rasm. Superplastifikatorlarning mini konus bo'yicha oquvchanlik ko'rsatkichlari. 1-PR-196; 2-RS-1; 3-Polyplast 956; 4-Chryso Delta 6328

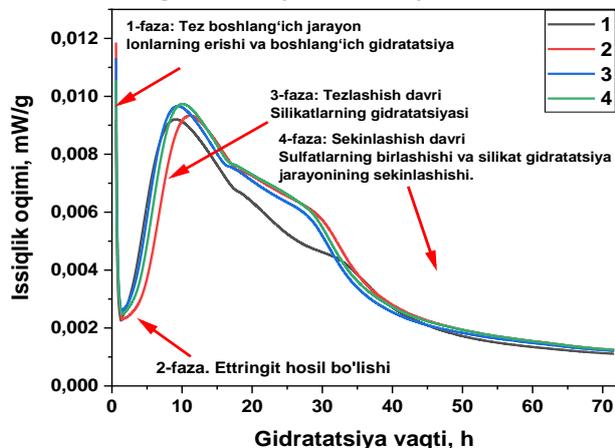


4-rasm. Superplastifikatorning optimal miqdori bilan kamaytirilgan suv miqdori.

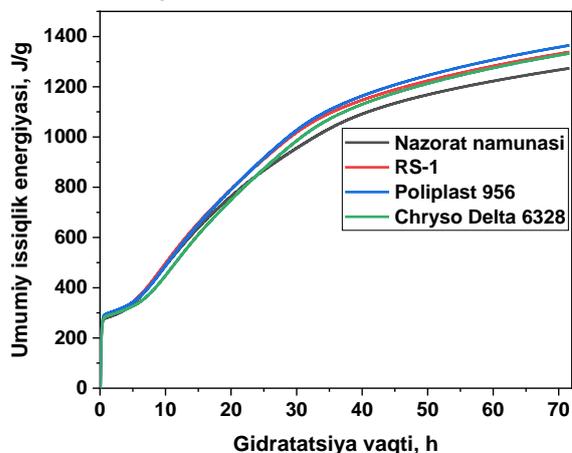
Tajribalarda to'rtta superplastifikatorning (PR-196, RS-1, Polyplast 956, Chryso Delta 6328) sement pastalarining oquvchanligi va optimal suv miqdoriga ta'siri o'rganildi. Barcha qo'shimchalar xarakterli S-shaklga ega bo'lgan bog'liqlikni namoyon qildi. Dozani oshirish bilan avval pastaning yoyilishi ortadi, so'ngra maksimal nuqtaga (to'yinganlik nuqtasi) etadi va tizimning ortiqcha to'yinishi sababli kamayadi. Optimal dozalari (PR-196: 0,8%, RS-1: 1,2%, Polyplast 956: 1,0%, Chryso Delta 6328: 1,0%) eng yuqori oquvchanlikni ta'minlaydi, biroq uning ortiqchaligi aralashmaning reologik xususiyatlarini yomonlashtiradi. Suv miqdori 30–40% ga kamaytirilganda etarli harakatchanlik saqlanadi, lekin suvning ortiqcha kamayishi zarrachalarning aglomeratsiyasi sababli yoyilishni keskin pasaytiradi. Belgilangan diapazonda eng barqaror natija PR-196 va Chryso Delta 6328 uchun qayd etildi, RS-1 esa kamaytirilgan suv miqdorida universal xususiyatlarni ko'rsatdi. Polyplast 956 o'zining optimal dozasi (1,0%) doirasida eng samarali bo'ldi. Tadqiqotlar shuni tasdiqlaydiki, superplastifikator va uning dozasi aniq tanlanganda hamda suv miqdori nazorat qilinsa, sement toshining oqimlilik va mustahkamlik xususiyatlarini ishonchli ravishda yaxshilash mumkin.

Issiqlik oqimi tahlili grafigi (5-rasm) asosida shuni aytish mumkinki, superplastifikatorlar (SP) sement tizimlarida gidratasiya jarayonlarining intensivligi va kinetikasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Polikarboksilat asosli SP, masalan, RS-1, sement zarrachalarining samarali dispersiyasi tufayli gidratasiyaning dastlabki bosqichini tezlashtiradi, bu esa sement va suvning o'zaro ta'sir yuzasini kengaytiradi. Sulfoaftalin-formaldegid asosli SP (Polyplast 956) shunga o'xshash, biroq nisbatan sustroq ta'sir ko'rsatadi va issiqlik ajralish cho'qqisining biroz kechikishi kuzatiladi. Aralash SP (Chryso Delta 6328) esa lignosulfonatlar va polikarboksilatlarining o'zaro ta'siri natijasida kombinatsiyalangan effekt namoyon etib, muvozanatli samaradorlikka erishishga imkon beradi. Barcha SP gidratasiyaning dastlabki

bosqichlarida issiqlik oqimini oshiradi, ammo ularning samaradorligi va optimal qo'llash sharoitlari tarkib va ta'sir mexanizmiga bog'liq. Shunday qilib, SP turini va uning dozasini to'g'ri tanlash gidratasiya jarayonini boshqarish va sement tizimlarining xususiyatlarini yaxshilashda muhim ahamiyat kasb etadi.

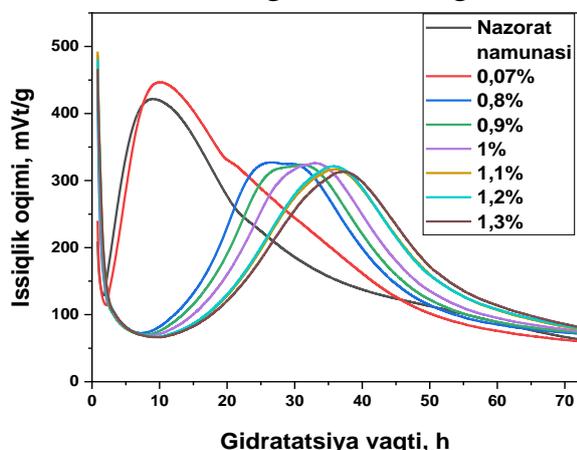


5-rasm. Portlandsementning superplastifikatorlar bilan issiqlik oqimi. 1-nazorat namunasi; 2-RS-1; 3-Polyplast 956; Chryso Delta 6328

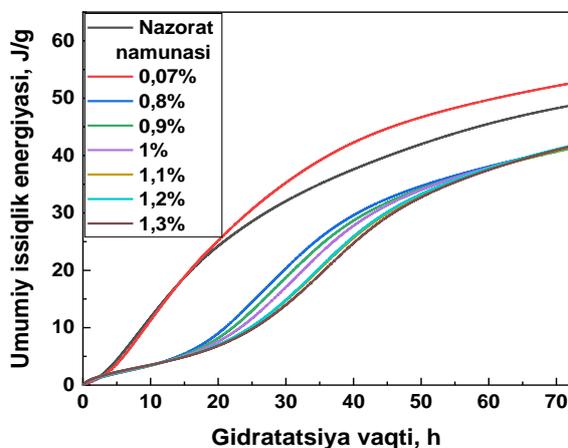


6-rasm. Portlandsementning superplastifikatorlar bilan umumiy issiqlik energiyasi. 1-nazorat namunasi; 2-RS-1; 3-Polyplast 956; Chryso Delta 6328

Kalorimetrik tahlil (6-rasm) shuni ko'rsatdiki, superplastifikatorlar portlandsementning gidratasiya kinetikasi va issiqlik ajralishiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Qo'shimchasiz nazorat namunasi eng past issiqlik energiyasini (taxminan 1300 J/g) namoyon etdi, bu gidratasiya jarayonining sekin kechishi bilan bog'liq. Polikarboksilat asosli SP, masalan, RS-1 va PR-196, gidratasiyani tezlashtirib, sement fazalarining suv bilan to'liqroq o'zaro ta'sirini ta'minlab, issiqlik energiyasini 1350 J/g gacha oshiradi. PR-196 erta issiqlik ajralish intensivligini kamaytiradi, bu esa yirik konstruksiyalarning haroratini oshib ketishini oldini oladi va mustahkamlikning bir tekisda ortishiga yordam beradi. Polyplast 956 va Chryso Delta 6328 ham issiqlik ajralishini oshiradi, biroq ularning ta'siri biroz kechikish bilan boshlanadi. SP qo'llanilishi sement dispersiyasini yaxshilash, suv-sement nisbatini kamaytirish va g'ovaklikni pasaytirish orqali sement toshining mustahkamlik va uzoq muddatli chidamliligini oshirishga xizmat qiladi.



7-rasm. Portlandsement va PR-196 superplastifikatorining issiqlik oqimi.

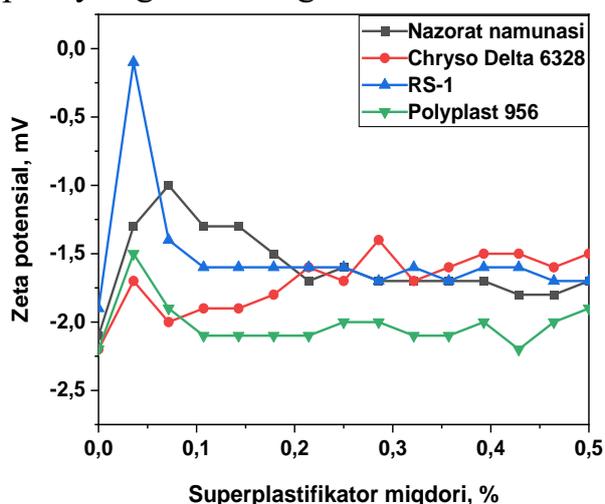


8-rasm. Portlandsementning PR-196 superplastifikatori bilan umumiy issiqlik energiyasi.

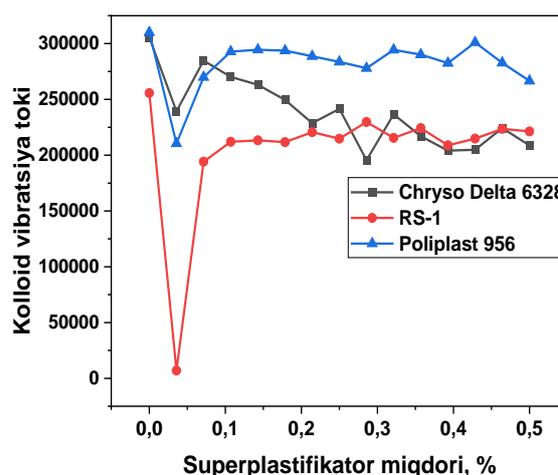
Ushbu tadqiqotda polikarboksilat asosli superplastifikator PR-196 ning turli konsentrsiyalarda qo'llanilgan sement aralashmalarining gidratasiya jarayoniga ta'siri batafsil tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari (7-rasm) PR-196 ning gidratasiya jarayoniga turli konsentrsiyalarda qanday ta'sir ko'rsatishini ko'rsatadi. PR-196 sement zarrachalari yuzasida adsorbsiyalanib,  $C_3S$  va  $C_3A$  ning dastlabki gidratasiyasini sekinlashtiradi, natijada issiqlik ajralish intensivligi pasayadi va jarayon biroz kechikadi. Bu sekinlashuv issiqlik ajralishi cho'qqisini oldini olib, haroratning teng taqsimlanishini ta'minlaydi va termik yoriqlar paydo bo'lish xavfini kamaytiradi, bu ayniqsa yirik konstruksiyalar uchun muhimdir. Gidratasiyaning kechki bosqichlarida (35 soatdan keyin) PR-196  $C_2S$  va  $C_4AF$  fazalarining sekinlashgan o'zaro ta'siri hisobiga jarayonning yanada yumshoq tugashini ta'minlaydi, bu esa sement toshining uzoq muddatli mustahkamligi va chidamliligini oshiradi. PR-196 ning ta'sir mexanizmlari, jumladan, elektrostatik itarilish va sterik to'siq effekti, sement dispersiyasini yaxshilaydi, sement pastasini yoyiluvchanligini oshiradi va suv talabini kamaytiradi, natijada materialning tuzilish va uzoq muddatli chidamlilik xususiyatlari yaxshilanadi.

Deryagin, Landau, Fervey va Overbek (DLFO) nazariyasi kolloid tizimlarning barqarorligini elektrostatik itarilish va Van der Waals tortish kuchlari orasidagi muvozanat orqali tavsiflaydi. Superplastifikatorlar sement zarrachalarining zeta-potensialini o'zgartirib, itarilishni kuchaytiradi va tizimning barqarorligini oshiradi. Shu sababli ushbu eksperimentlar o'tkazildi, chunki zeta-potensialning absolyut qiymati qanchalik yuqori bo'lsa, sement suspenziyalarining dispersiyasi va oquvchanligi shunchalik yaxshi bo'ladi.

9-rasmda turli superplastifikatorlar qo'llanilgan sement tizimlari uchun zeta-potensial qiymatlari keltirilgan. Nazorat namunasi o'rtacha zeta-potensialni namoyish etib, zaif itarilish va zarrachalarning agregatsiyalashuvga moyilligini ko'rsatadi. Chryso Delta 6328 past zeta-potensialga ega bo'lib, bu uning sement zarrachalarining dispersiyasiga cheklangan ta'sir ko'rsatishini bildiradi.

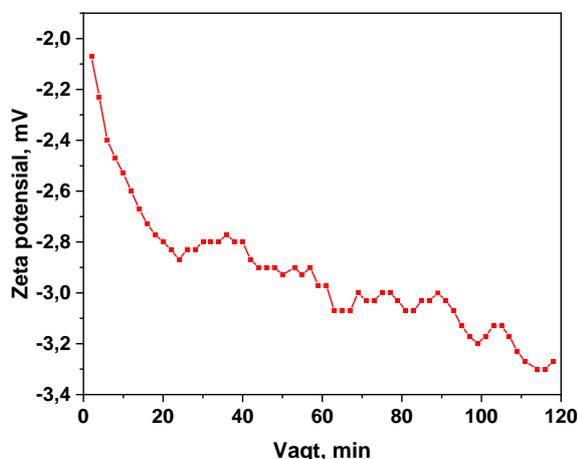


9-rasm. Portlandsement va superplastifikator namunalarining zeta potentsiali

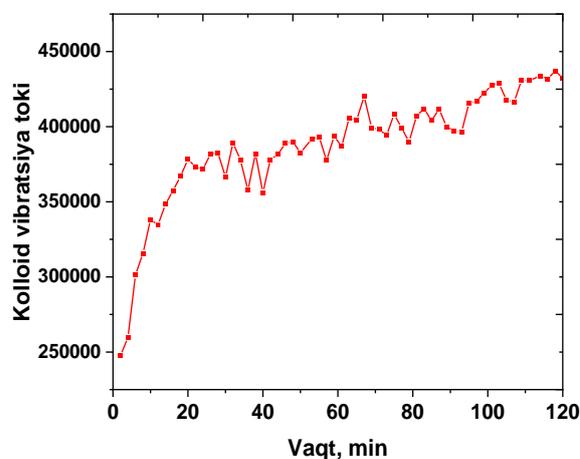


10-rasm. Portlandsement va superplastifikator namunalarining kolloid vibratsiya toki

RS-1 dastlab yuqori zeta-potensial pikini ko'rsatib, oquvchanlikni yaxshilaydi, ammo uning tez kamayishi bu effektning barqaror emasligini bildiradi. Polyplast 956 eng past zeta-potensialni namoyon qilib, zarrachalar orasida kuchli va barqaror elektrostatik itarilishni ta'minlaydi, bu esa aglomerasiyaning oldini oladi va sement suspenziyasining uzoq muddatli oquvchanligini saqlaydi.



11-rasm. Portlandsementning PR-196 superplastifikatori bilan zeta potentsiali



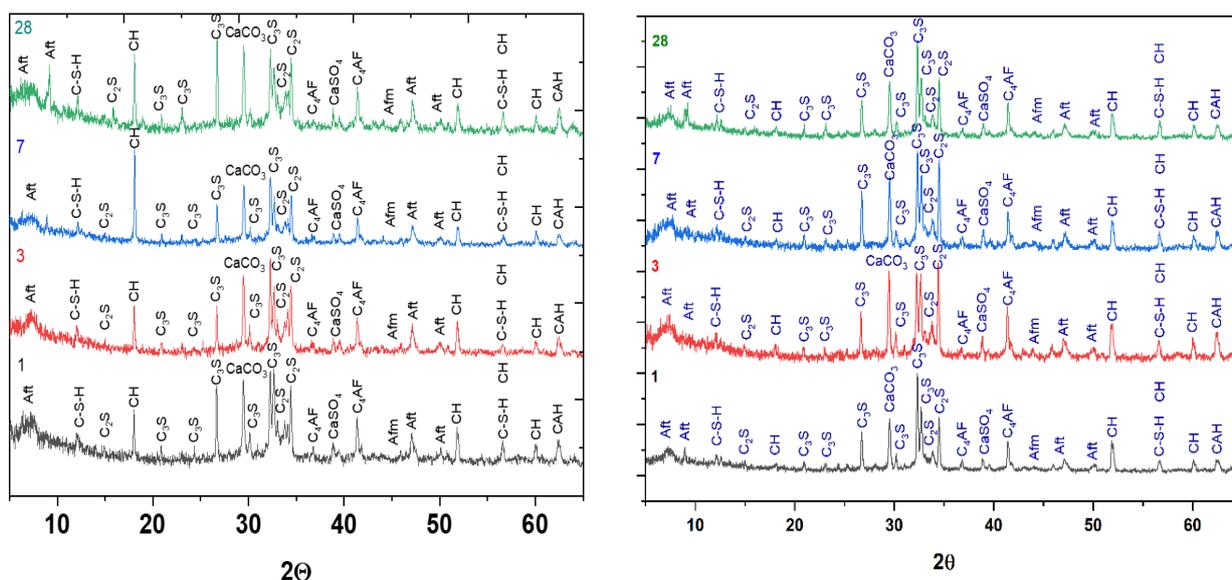
12-rasm. Portlandsementning PR-196 superplastifikatori bilan kolloid vibratsiya toki ko'rsatkichi

SP PR-196 sementning gidratasiya kinetikasiga murakkab ta'sir ko'rsatib, dastlabki bosqichda elektrostatik itarilishni hosil qiladi (11-rasm) va keyingi bosqichlarda zeta-potensialning asta-sekin pasayishini ta'minlaydi. Dastlabki bosqichda yuqori zeta-potensial zarrachalarning dispersiyalanishini yaxshilab, boshlang'ich qotish jarayonini sekinlashtiradi va issiqlik ajralishini bir tekis taqsimlaydi. Zeta-potensial pasayishi bilan tizim zichroq struktura va barqaror holatga o'tadi, natijada gidratasiya kinetikasi sekinlashib, mustahkamlik uzoq muddat davomida oshib boradi. Shu tariqa, PR-196 sementning boshqariladigan gidratasiyasiga yordam berib, uning tuzilishini yaxshilaydi va uzoq muddatli mustahkamlikni ta'minlaydi, bu esa yirik konstruksiyalar va termik hamda mexanik yuklamalarga chidamlilik talab qilinadigan betonlar uchun muhim ahamiyatga ega.

12-rasmda PR-196 superplastifikatori uchun kolloid-vibrasion tok keltirilgan bo'lib, u sement suspenziyasi tizimidagi zarrachalarning harakatchanligini va zaryadlarning taqsimlanishini baholash imkonini beradi. PR-196 sement suspenziyalarining elektrokinektik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi, bu esa dastlabki bosqichda yuqori kolloid-vibrasion tok bilan tasdiqlanadi. PR-196 molekullari sement zarrachalari yuzasida adsorbsiyalanib, karboksilat guruhlarini (-COO<sup>-</sup>) tizimga kiritadi, bu esa zeta-potensialni oshirib, zarrachalar orasidagi elektrostatik itarilishni kuchaytiradi. Bu aglomerasiyani oldini olib, zarrachalarning dispersiyalanishini yaxshilaydi va ularning tizimda teng taqsimlanishini ta'minlaydi, bu ayniqsa gidratasiyaning dastlabki bosqichlarida muhimdir. elektrostatik ta'sirdan tashqari, PR-196 o'zining uzun yon zanjirlari orqali sterik stabilizasiyani hosil qilib, zarrachalar orasida fizik to'siq yaratadi. Ushbu murakkab mexanizm sement

suspenziyalarining yuqori barqarorligi va oqimlilikini ta'minlab, ularning gidratasiya jarayonini bir tekisda kechishini qo'llab-quvvatlaydi.

Portlandsementning gidratasiya jarayoni uning kukun holatidagi zarralarining suv bilan reaksiyasi natijasida boshlanadi, bu esa turli kimyoviy reaksiyalarni yuzaga keltirib, kalsiy gidrosilikatlari (C-S-H), kalsiy gidroksidi ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), gidratlangan sulfoalyuminatlar va ferritlar kabi fazalarning hosil bo'lishiga olib keladi. Ushbu jarayonlar sement toshining mikrostrukturasi shakllanishini ta'minlab, uning fizik-kimyoviy hamda mexanik xususiyatlarini belgilaydi.



13-rasm. Superplastifikatorsiz va superplastifikatorli portlandsement namunalari ning gidratasiya kinetikasining rentgen fazaviy tahlili

Yuqoridagi rentgen difraktogramma (13-rasm) tahlili asosida polikarboksilat asosli superplastifikator PR-196 qo'shilgan portlandsementning 1, 3, 7 va 28 sutkalik gidratasiya bosqichlarida fazaviy tarkibdagi asosiy o'zgarishlar aniqlangan bo'lib, ular klinker fazalarining gidratasiya jarayoni va gidrat mahsulotlarining shakllanishini aks ettiradi. Rentgen difraktogrammalarining tahlili shuni ko'rsatdiki, PR-196 qo'shilishi natijasida 1, 3, 7 va 28 sutkalik gidratasiya bosqichlarida sement toshining fazaviy tarkibida sezilarli o'zgarishlar sodir bo'ladi. Dastlabki bosqichda (1 sutka) ettringit, C-S-H geli va portlandit shakllanadi, bunda PR-196 suvning teng taqsimlanishini ta'minlab,  $\text{C}_3\text{S}$  gidratasiyasini tezlashtiradi. 3-sutkaga kelib, C-S-H gelining to'planishi kuchayadi va  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  ning gidratasiyasi davom etib, ettringitning barqarorlashuviga yordam beradi. 7-sutkada C-S-H gelining intensivligi maksimal darajaga etadi,  $\text{C}_3\text{S}$  ning gidratasiyasi yakunlanadi, PR-196 esa yirik kristallar o'sishini oldini oladi. 28-sutkaga kelib, sement toshining tuzilishi zichlashib, C-S-H geli asosiy fazaga aylanadi, portlandit hosil bo'lishi tugallanadi, qolgan  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  esa gidratasiya jarayonini davom ettiradi. PR-196 sement toshining zich va bir xil tuzilishini shakllanishiga yordam berib, uning mustahkamligi va uzoq muddatli chidamliligini yaxshilaydi.

Rentgen difraksiya va infraqizil spektroskopiya ma'lumotlarini taqqoslash gidratasiyaning turli bosqichlarida kristall va amorf fazalarning o'zgarishini kuzatish

imkonini beradi. Rentgen difraksiya va infraqizil spektroskopiya natijalari shuni tasdiqlaydiki, polikarboksilat asosli superplastifikator PR-196 qo'shilishi sementning gidratasiya jarayoniga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Portlandsement asosiy bog'lovchi material bo'lib, uning xususiyatlari, jumladan, mustahkamligi va qotish muddati, konstruksiyalarning uzoq muddatli chidamliligi uchun muhim ahamiyatga ega. Polikarboksilat efir asosidagi PR-196 superplastifikatorining qo'shilishi sement zarrachalarining dispersiyasini elektrostatik va sterik effektlar orqali yaxshilaydi, bu esa suv-sement nisbatining kamayishiga olib keladi. Natijada gidratasiya jarayoni tezlashadi, zarrachalar teng taqsimlanadi va sement toshining zich mikrostrukturasi shakllanadi. Mikrostrukturaviy tahlili g'ovaklik va nuqsonlarning kamayishini tasdiqlab, aralashmaning mustahkamligi va umumiy xususiyatlarining yaxshilanishiga olib keladi.

Dissertatsiyaning **“Mahalliy xomashyo asosidagi o'z-o'zidan zichlanuvchi beton aralashmalari va betonlarning xususiyatlari”** deb nomlangan to'rtinchi bobida o'tkazilgan eksperimental tadqiqot natijalari keltirilgan. Ushbu bo'limda o'z-o'zidan zichlanuvchi beton tarkibini optimallashtirish va ularning fizik-mexanik xususiyatlarini baholashga doir natijalar taqdim etilgan.

Regressiya tenglamasi va grafiklar tahlili shuni ko'rsatadiki, beton aralashmasining oquvchanligi (konus yoyilishi) sement miqdoriga ( $X_1$ ) bog'liq.  $X_1$  ning past qiymatlarida ( $-1$ ) aralashmaning etarlicha bog'lanishining yo'qligi sababli oquvchanligi kamayadi.  $X_1$  ning 0 va 1 gacha oshirilishi esa zichroq va bir xil tuzilish hosil bo'lishi natijasida yoyilishni yaxshilaydi. Biroq, sement miqdorining haddan tashqari ortishi qovushqoqligini oshishiga va oquvchanlikning pasayishiga olib kelishi mumkin, bu esa o'z-o'zidan zichlashuvchi betonning xususiyatlarini optimallashtirish uchun komponentlarning muvozanatli nisbatini tanlash zarurligini ta'kidlaydi.

Ketma-ket eksperimentlar, hisob-kitoblar va adekvatlikni tekshirish natijasida quyidagi regressiya tenglamalari hosil qilindi, ular  $1 \text{ m}^3$  o'z-o'zidan zichlashuvchi beton aralashmasida portlandsement ( $\text{kg/m}^3$ ), superplastifikator ( $\text{kg/m}^3$ ) va suv ( $\text{kg/m}^3$ ) miqdorining 1, 7 va 28 sutkalik mustahkamlikka ta'sirini tavsiflaydi:

*1 sutkalik uchun:*

$$R_{sj}^1 = 7.67 + 3.652X_1 - 0.86X_2 - 0.628X_3 - 0.248X_1X_2 - 0.81X_1X_3 - 1.068X_2X_3 - 0.88X_1X_2X_3$$

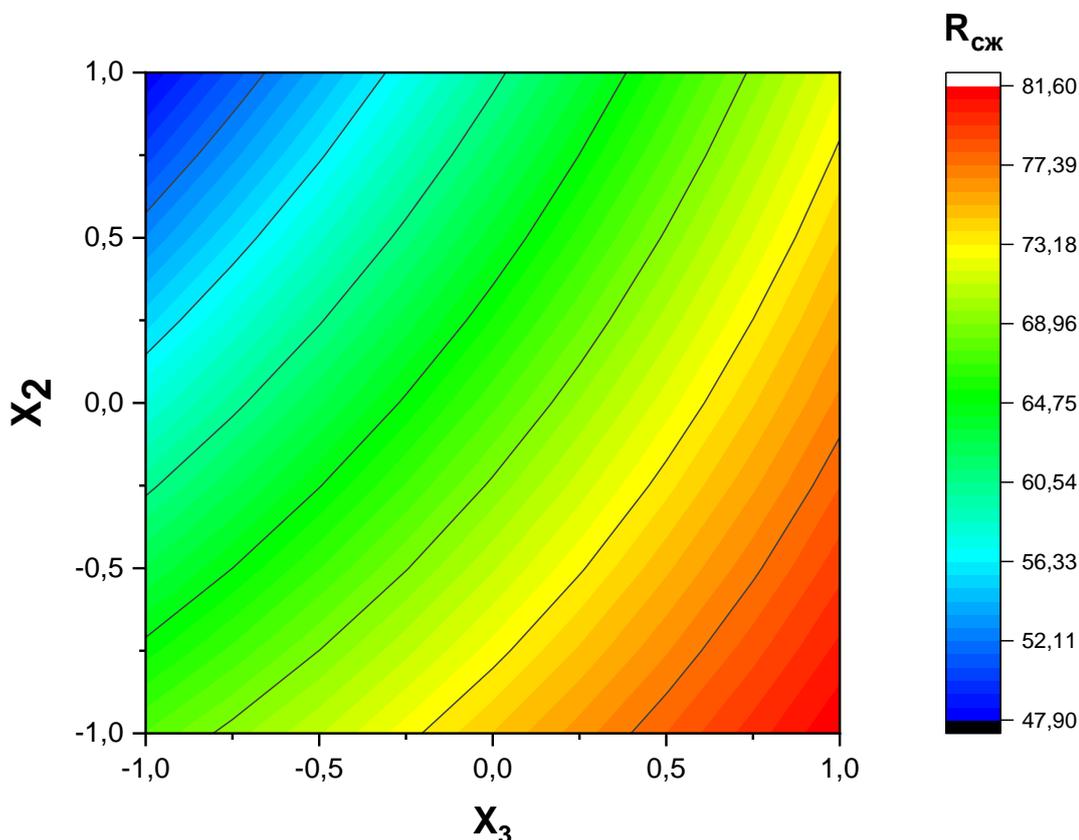
*7 sutkalik uchun:*

$$R_{sj}^7 = 60.55 + 12.05X_1 + 1.65X_2 - 1.65X_3 - 0.281X_1X_2 - 1.454X_1X_3 + 0.97X_2X_3 - 0.88X_1X_2X_3$$

*28 sutkalik uchun:*

$$R_{sj}^{28} = 74.95 + 7.61X_1 + 4.44X_2 - 4.66X_3 - 3.07X_1X_2 + 2.6X_1X_3 + 2.57X_2X_3 - 2.06X_1X_2X_3$$

Regressiya tenglamasi va o'z-o'zidan zichlashuvchi betonning mustahkamlik xususiyatlarini tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, sement ( $X_1$ ) uzoq muddatli mustahkamlikni aniqlovchi asosiy komponent bo'lib, u gidratasiya fazalarining hosil bo'lishi bilan bog'liq ijobiy ta'sirga ega (+7.61). Superplastifikator ( $X_2$ ) aralashmaning reologiyasini va zichligini yaxshilaydi (+4.44), biroq uning ortiqcha miqdori sementning gidratasiya jarayonini sekinlashtirishi mumkin ( $-3.07X_1X_2$ ). Suv ( $X_3$ ) gidratasiya uchun zarur, ammo uning ortiqchaligi g'ovaklikni oshirib, mustahkamlikni pasaytiradi ( $-4.66$ ). Komponentlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirlar, masalan, sement va suvning ijobiy ta'siri ( $+2.6X_1X_3$ ) yoki superplastifikator va suvning ijobiy ta'siri ( $+2.57X_2X_3$ ), tarkibning aniq balansini saqlash zarurligini ko'rsatadi. O'rtacha boshlang'ich faollikka ega aralashmalar 1 sutkadan 28 sutkagacha optimal mustahkamlik rivojlanishini namoyon etib, zich mikrostrukturani shakllantiradi.



14-rasm. O'z-o'zidan zichlashuvchi betonning 28 sutkalik mustahkamlik izochiziq grafigi,  $X_1 = -1$  (doimiy qiymat) bo'lganda,  $X_2$  (superplastifikator dozasi) va  $X_3$  (suv miqdori) ning o'zgarishiga bog'liqligi

Shu bilan birga, yuqori boshlang'ich mustahkamlik gidratasiya potensialining tez tugashi sababli keyingi mustahkamlik o'sishiga to'sqinlik qilishi mumkin, bu esa uzoq muddatli mustahkamlikka erishish uchun barcha omillarni nazorat qilish muhimligini tasdiqlaydi.

1-jadvalda keltirilgan ma'lumotlar o'z-o'zidan zichlashuvchi beton aralashmalarining mustahkamlik xususiyatlarini turli sinovlar natijasida aks ettiradi: 28 sutkadan keyingi kubik mustahkamlik, prizma mustahkamlik va egilishdagi mustahkamlik chegarasi. Ushbu ko'rsatkichlar beton materiallarining tuzilishini va mexanik xususiyatlarini baholash uchun muhim parametrlar hisoblanadi.

1-jadval

### Beton tarkiblarining mexanik xususiyatlari

№	R, MPa	R <sub>b</sub> , MPa	k= R <sub>b</sub> /R	ε <sub>b</sub> , GPa	R <sub>bt</sub> , MPa	μ
1	67,34	55,42	0,823	33,7	6,333	0,155
2	74,95	68,2	0,91	37,5	7,4715	0,164
3	82,56	65,22	0,79	38,5	7,6785	0,168

\*R-kubik mustahkamlik, R<sub>b</sub>-prizma mustahkamlik, R<sub>bt</sub>-siqilishdagi egilish, ε<sub>b</sub>-elastiklik moduli, μ-Puasson koeffisienti

Tadqiqot natijalari beton aralashmasi tarkibining materialning mexanik xususiyatlariga sezilarli ta'sirini ko'rsatadi. 1-raqamli tarkib boshqa tarkiblarga qaraganda kam miqdordagi sement sarfi bilan optimal mustahkamlik ko'rsatkichlarini namoyon etadi, 2-raqamli tarkib egilishga yuqori chidamliligi bilan ajralib turadi, 3-raqamli tarkib esa siqilishdagi maksimal mustahkamlik qiymatlarini ta'minlaydi.

### XULOSA

1. Mineral qo'shimchalarning putsolan faolligi quyidagi ketma-ketlikda aniqlandi: mikrokremnezem > kul va shlak aralashmasi > metakaolin > uchuvchi kul. Ushbu ma'lumotlar betonning mustahkamlik xususiyatlarini oshirish uchun qo'shimchalardan samarali foydalanish imkonini beradi.

2. Beton qorishmalarining reologik xususiyatlarini yaxshilash uchun optimal superplastifikator va mineral qo'shimcha miqdorlari belgilandi. Bu esa suv-sement nisbati minimallashtirilgan holda yuqori oquvchanlikni saqlab qolish va komponentlar segregasiyasining oldini olish imkonini beradi.

3. PR-196 superplastifikatori betonning reologik, fizik va mexanik xususiyatlarini yaxshilashda samarador ekanligi tasdiqlandi. Ushbu plastifikator betonning murakkab shakllarni vibro zichlashtirishsiz to'liq to'ldirishini va plastik qisqarishni kamaytirishini ta'minlaydi.

4. PR-196 superplastifikatori ta'sirida sement toshining struktura shakllanish mexanizmi asoslab berildi. Superplastifikatorning sterik va elektrostatik ta'siri natijasida sement zarrachalari teng taqsimlanib, gidratasiya jarayoni yaxshilanadi.

5. Rentgen fazali tahlil va infraqizil spektroskopiya yordamida klinker minerallarining gidratasiya kinetikasi va "Portlandsement – PR-196 superplastifikator – suv" tizimida sement toshining mikrostrukturasi shakllanish mexanizmi aniqlandi. Ushbu natijalar beton tarkibini optimallashtirish yo'llarini aniqlashga imkoniyat berdi.

6. Mahalliy xom ashyolar asosida energiya tejankor o'z-o'zidan zichlanuvchi beton tarkiblari ishlab chiqildi. PR-196 superplastifikatori va aktiv mineral

qo'shimchalar bilan modifikatsiyalangan ushbu tarkiblar betonning yuqori fizik-mexanik va ekspluatasion xususiyatlarini ta'minlaydi.

7. O'z-o'zidan zichlanuvchi beton tarkibini shakllantirish tamoyillari ishlab chiqildi. Bu mahalliy xom ashyolar va ikkilamchi materiallardan ularning fizik, kimyoviy va texnologik xususiyatlarini hisobga olgan holda samarali foydalanish imkonini beradi.

8. B65 sinfidagi o'z-o'zidan zichlanuvchi beton ishlab chiqarish yo'lga qo'yildi. Uning yuqori mustahkamlikka egaligi eksperimental tadqiqotlar va "DURABLE STONE" MCHJ korxonasiida amaliyotga joriy etish orqali tasdiqlandi. Ushbu innovasiyaning kutilayotgan iqtisodiy samaradorligi 2024 yil narxlari bo'yicha bir metr kub uchun 102 164,89 so'm deb baholandi.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**АБДАЗОВ ДИЛШОД РАХМАДЖОН ЎҒЛИ**

**САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ**

**Специальность 05.09.05-«Строительные материалы и изделия»**

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

**Ташкент – 2025**

**Тема диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №B2024.2.PhD/T4761.**

Диссертация выполнена в Ташкентском архитектурно-строительном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета ([www.taqu.uz](http://www.taqu.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Научный руководитель:** Камиллов Хабибилла Хамидович  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Цой Владимир Михайлович  
доктор технических наук, профессор

Соттикулов Элёр Сотимбоевич  
доктор технических наук, старший научный сотрудник

**Ведущая организация:** Ферганский государственный технический университет

Защита диссертации состоится 30-мая 2025 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.26/30.12.2019.T.11.01 при Ташкентском архитектурно-строительном университете. Адрес: 100011, г. Ташкент, улица Янгишахар д. 9. Корпус 4, 5-й этаж. Тел.:(99871) 241-10-84; факс: (99871) 241-80-00, e-mail: [devon@taqu.uz](mailto:devon@taqu.uz) ).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского архитектурно-строительного университета (зарегистрирован за №148 ). (Адрес: 100084, г.Ташкент, улица Янгишахар, дом-9. Тел.:(71) 235-43-40, факс: (71) 234-15-11), e-mail: [devon@taqu.uz](mailto:devon@taqu.uz)).

Автореферат диссертации разослан 17-мая 2025 г.  
(реестр Протокола рассылки №54 от 17-марта 2025 г.).

**Х.А. Акрамов**  
Председатель Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

**И.И. Сиддиков**  
Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

**Б.А. Аскарлов**  
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 бетон является одним из важнейших и наиболее широко используемых строительных материалов современной строительной отрасли, а его годовой объем производства составляет более 14 миллиардов м<sup>3</sup>.<sup>3</sup> Развитые страны, в частности такие как США, Япония, Китай, Индия, Германия, Франция, занимают лидирующие позиции в разработке и внедрении ресурсосберегающих, энергоэффективных и экологически безопасных инновационных технологий в строительной промышленности, в частности в производстве бетонных и железобетонных конструкций. С этой точки зрения, одним из приоритетных направлений научно-технических исследований является создание высококачественных бетонных составов на основе местного сырья и промышленных отходов, не требующих внешнего механического уплотнения, обладающих высокой плотностью, высокой прочностью, способностью легко заполнять формы сложной геометрии и удобством в обработке, а также совершенствование технологий их производства, чему уделяется особое внимание.

В ведущих высших учебных заведениях и научно-исследовательских центрах мира последовательно ведутся фундаментальные и прикладные научно-исследовательские работы, направленные на дальнейшее совершенствование физико-механических свойств бетонов с высокими строительными, техническими и эксплуатационными характеристиками, а также на создание современных, высокоэффективных технологий их производства. В этом направлении одной из актуальных научных и практических задач является совершенствование энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий производства, позволяющих использовать вторичное сырьё, такое как местные и промышленные отходы, научно обоснованно оптимизировать состав бетона, модифицировать его с помощью химических и минеральных добавок, контролировать кинетику твердения, управлять процессами структурообразования и, в результате, повышать эксплуатационные свойства материала.

В нашей республике особое внимание уделяется созданию благоприятных условий для быстрого развития и диверсификации сети производства строительных материалов, привлечению инвестиций в переработку местного минерального сырья, развитию научных исследований в области строительных материалов и повышению их эффективности. В Указе Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»<sup>4</sup> обозначены важные задачи, такие как «...сокращения потерь в отраслях промышленности и увеличения эффективность использования ресурсов...». Выполнение этих задач, в том числе

---

<sup>3</sup> [www.gccassociation.org](http://www.gccassociation.org)

<sup>4</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022 – 2026 годы»

использование местного сырья и промышленных отходов, а также научные исследования, направленные на разработку составов и технологии самоуплотняющихся бетонов, имеют важное значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 – 2026 годы», Постановлениями Президента Республики Узбекистан № ПП-436 от 2 декабря 2022 года «О мерах по повышению эффективности реформ, направленных на переход Республики Узбекистан к "зеленой" экономике до 2030 года», № ПП-307 от 6 июля 2022 года «Об организационных мерах по реализации Стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2022–2026 годы», № ПП-4335 от 23 мая 2019 года «О дополнительных мерах по ускоренному развитию отрасли строительных материалов», а так же других нормативно-правовых документов, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники Республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии Республики Узбекистан: II «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Разработкой и исследованием самоуплотняющихся бетонов занимались такие ведущие ученые, как Н. Okamura, М. Ouchi, К. Maekawa, К. Ozawa, М. Hayakawa, G. De Schutter, P.J.M. Bartos, P. Domone, J. Gibbs, К.Н. Hayat, D.L. Marrs, М. Sonebi, S.P. Shah, М. Grauers, O. Patterson, A. Skarendal, O.H. Vellick, V. Ramachandran, I. Nielson, V. Boel, S.I. Gudier, G. Audinert, N. De Belie, A. Santamaria, P. Chandar, J. Jakowska-Lemanska, а также В.П. Углов, А.В. Жигулев, А.М. Попов, П.П. Кузьмин и М.С. Васильев. Научные исследования, осуществляемые этими учеными, проводились по приоритетным направлениям, связанным с составом и технологиями производства, самоуплотняющегося бетонов, управлением гидратацией и структурообразованием, физико-химическими основами структурообразования.

В нашей республике разработкой составов и технологий бетонов на основе местных материалов и сырья, улучшением реологических свойств бетонов, а также физико-механических свойств путем модификации химическими и минеральными добавками, оптимизацией их состава, улучшением их технологии производства в различные периоды занимались Э.У. Касимов, М.К. Тахиров, Н.А. Самигов, А.И. Адилходжаев, С.А. Ходжаев, Б.Б. Хасанов, Р.Д. Тешабаев, А.А. Тулаганов, И.М. Махаматалиев, В.М. Цой, Х.Х. Камилов и др.

Анализ выполненных работ показывает, что научные исследования, направленные на разработку составов самоуплотняющихся бетонов на основе местного вторичного сырья, не проводились. Именно этот факт послужил основой для выбора темы данной диссертации, а также для определения её целей и задач.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена**

**диссертация.** Диссертационное исследование проводилось в рамках основного научного направления кафедры «Технология строительных материалов и конструкций» Ташкентского архитектурно-строительного университета по основной научной теме «Строительные материалы, заполнители и строительные конструкции на основе местного сырья и промышленных отходов, и проектирование стеновых панелей».

**Целью исследования** являются разработка составов самоуплотняющихся бетонов с использованием местного сырья и изучение их свойств.

**Задачи исследования:**

определить пуццолановую активность материалов, используемых в качестве минеральных добавок;

определить вид химических добавок и выбор оптимально подходящих для получения самоуплотняющегося бетона;

определить влияние суперпластификаторов на реологические и физико-химические свойства цементной пасты;

определить оптимальное количество минеральных добавок и суперпластификаторов для улучшения реологических свойств самоуплотняющихся бетонных смесей;

разработать и оптимизировать составы самоуплотняющегося бетона;

исследовать свойства самоуплотняющегося бетона;

**Объект исследования** самоуплотняющиеся бетоны на основе местного сырья, модифицированные суперпластификаторами и минеральными добавками.

**Предметом исследования** являются состав, физико-механические, физико-химические и технологические свойства самоуплотняющихся бетонов на основе местных материалов и отходов промышленности.

**Методы исследования.** При разработке составов самоуплотняющегося бетона использовались современные методы физико-химического анализа: рентгеноструктурный анализ для изучения структурообразования, ИК-спектроскопия и рамановская спектрометрия для отслеживания изменений функциональных групп, изотермическая титрационная калориметрия для изучения изотермических процессов гидратации цемента, метод измерения дзета-потенциала, стандартизированные методы для исследования физико-механических свойств полученных составов, а также методы математического моделирования для оптимизации состава самоуплотняющегося бетона.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

установлено, что используемые минеральные добавки располагались в следующей последовательности по пуццолановой активности: «микрокремнезем > метакаолин > зола шлаковая смесь > зола уноса» и поглощали  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в количестве 475.86, 293.16, 195.56, 190.26 мг/г соответственно;

путем анализа ИК-спектрограмм и рентгеновских дифрактограмм цементных камней твердеющих в течение различного времени установлены

влияние суперпластификатора PR-196 на гидратацию цемента и механизм формирования структуры цементного камня;

в результате определения значения  $-3,3$  мВ дзета-потенциала между частицами цемента в суспензии, состоящей из частиц портландцемента, суперпластификатора и воды, установлено, что суперпластификатор PR-196 имеет не только стерический, но и электростатический механизм действия;

в результате рентгенофазового и ИК-спектроскопического анализов установлено, что кинетика гидратации клинкерных минералов и механизм образования новых минералов в цементном камне на основе системы «портландцемент-суперпластификатор PR-196-вода» оптимальные показатели достигаются при дозировке пластификатора 0,8% от массы цемента.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны составы самоуплотняющегося бетона с использованием местного сырья и вторичных материалов;

разработаны основные критерии подбора компонентов для изготовления самоуплотняющегося бетона с использованием местного сырья и вторичных материалов;

достигнуто производство самоуплотняющегося бетона класса В65 на основе местного сырья и вторичных материалов.

усовершенствованы энергоэффективные составы самоуплотняющегося бетона с использованием портландцемента, активных минеральных добавок и суперпластификатора PR-196.

**Достоверность результатов исследования** подтверждается использованием современных методов и средств для проведения комплекса экспериментальных исследований, высокой степенью согласованности теоретических и экспериментальных данных, применением проверенных методов математической статистики для обработки экспериментальных данных, а также достижением положительных результатов при внедрении составов самоуплотняющегося бетона в практику.

**Практическая значимость результатов** исследования заключается в научно обоснованном качественном выборе минеральных и химических добавок для состава самоуплотняющегося бетона, разработке оптимальных составов самоуплотняющихся бетонов с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами на основе местного сырья и вторичных ресурсов, а также в их успешном внедрении в производство.

**Внедрение результатов исследования.** На основе результатов исследования самоуплотняющегося бетона на основе местного сырья апробированных в производственных условиях:

на основе разработанных новых составов производство смесей самоуплотняющегося бетона на основе портландцемента, гранитового щебня, песка, пуццолановых добавок и суперпластификатора было внедрено в ООО «Aysel Inshaat» (справка Ассоциации «O‘zsanoatqurilishmateriallari» Республики Узбекистан № 02/15-3584 от 24 ноября 2024 года). В результате был получен самоуплотняющийся бетон с прочностью на сжатие 72,2 МПа;

на основе технологии получения самоуплотняющегося бетона на основе портландцемента, гранитового щебня, песка, пуццолановых добавок и суперпластификатора высокопрочные бетонные составы были внедрены в ООО «DURABLE STONE» (справка Ассоциации «O‘zsanotqurilishmateriallari» Республики Узбекистан № 02/15-3584 от 24 ноября 2024 года). В результате был получен самоуплотняющийся бетон с прочностью на сжатие 85,4 МПа.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования прошли апробацию и изложены в виде докладов на 4 международных и 2 республиканской научно-технических и научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 14 научных работ. Из них 8 научных статей, в том числе 5 в зарубежных и 3 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD) по техническим наукам.

**Состав и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключений, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 119 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цели и задачи, объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, изложены научная новизна и практические результаты. Обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость. Приведены данные о внедрении результатов исследования в практику, апробации, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние исследований в области самоуплотняющихся бетонов**» — приведён аналитический обзор научных исследований по рассматриваемой теме.

На основе литературных источников подробно рассмотрены механизмы действия поликарбоксилатных суперпластификаторов (СП), которые обеспечивают снижение водоцементного отношения, улучшение реологических свойств бетона и повышение его механической прочности. Проанализированы особенности взаимодействия СП с минеральными добавками и их влияние на свойства бетонных смесей.

Изучены принципы проектирования самоуплотняющихся бетонов (СУБ), их высокая текучесть, устойчивость к сегрегации и способность к самоуплотнению. Особое внимание уделено применению СУБ в сложных конструкциях, требующих высокой плотности арматуры и однородности материала.

Анализ выполненных исследований и литературный поиск показал, что к настоящему времени недостаточно изучено влияние комплексной добавки на основе СП и на ход течения процессов гидратации, формирования порового пространства и свойства цементного композита.

Для реализации поставленных задач в рамках выполняемых исследований сформулирована следующая рабочая гипотеза: добавление микрокремнезема, золы уноса и поликарбоксилатных суперпластификаторов ускоряет формирование гидратных фаз, повышает плотность и механическую прочность цементного камня, снижает водоцементное отношение и улучшает текучесть бетонных смесей, что обеспечивает высокую прочность и долговечность самоуплотняющегося бетона.

Во второй главе диссертации **«Характеристика сырьевых материалов и методы проведения исследований»** рассматриваются характеристики исходных сырьевых материалов и принятые для выполнения экспериментальных опытов методы исследований.

Для изготовления цементных композиций использован портландцемент АО «Кизилкумцемент» ЦЕМ I 42,5Н.

В качестве минеральной добавки были использованы микрокремнезем, зола уноса, метаксаолин и золошлаковая смесь, а в качестве химической добавки — суперпластификаторы PR-196 и RS-1 на основе поликарбоксилатных эфиров, Polyplast 956 на основе сульфонафталина формальдегида и Chryso Delta 6328 на основе лигносульфоната и поликарбоксилата.

В исследованиях наряду со стандартизированными методами были применены современные методы физико-химического анализа, а также нестандартные методики, разработанные специалистами ведущих зарубежных научно-исследовательских институтов. Дисперсность минеральных добавок оценивалась по величине удельной поверхности, которая определялась на приборе ПСХ-11А методом воздухопроницаемости Козени—Кармана. Сроки схватывания и нормальная плотность цементного теста определялись на приборе Вика, реологические характеристики цементных суспензий по методикам миниконуса. Исследования структуры суперпластификаторов исследовались с помощью Рамановской спектроскопии, ИК спектроскопии и гель-проникающей хроматографии. Кинетика гидратации исследовалась с помощью рентгенофазового анализа.

Третья глава диссертации “Особенности влияния модифицирующих добавок на свойства цементного теста и камня” — посвящена результатам выполненных экспериментальных исследований по определению вида суперпластификатора, пуццолановой активности и кинетики гидратации портландцемента с суперпластификаторами.

В ходе исследования на основе воздействия различных пластификаторов на свойства самоуплотняющегося бетона были определены их типы с использованием физико-химических методов. Изучено влияние этих пластификаторов на гидратацию цемента, а также установлены оптимальные дозировки для их применения.

На основе результатов анализов установлено, что PR-196 обладает

функциональными группами, включая карбоксильные, эфирные, гидроксильные и углеводородные фрагменты, что подтверждается спектральным анализом, а молекулярная масса 12,6 кДа обеспечивает стерическую стабилизацию цементной пасты. RS-1 характеризуется наличием ароматических фрагментов и карбоксильных групп, а молекулярные фракции 10 кДа и 1,8 кДа способствуют устойчивой дисперсии цементных частиц и ускоренной начальной текучести. Polyplast 956 имеет высокомолекулярную фракцию 15,8 кДа для стерической стабилизации и низкомолекулярную фракцию 4 кДа для обеспечения начальной текучести и контроля гидратации.

Определена пуццолановая активность минеральных добавок, показано, что микрокремнезем имеет наиболее высокую пуццолановую активность среди всех исследуемых добавок. Это может быть связано с его высокой удельной поверхностью (23 328 см<sup>2</sup>/г) и высоким содержанием аморфного кремнезема, который активно взаимодействует с гидроксидом кальция (рис. 1).

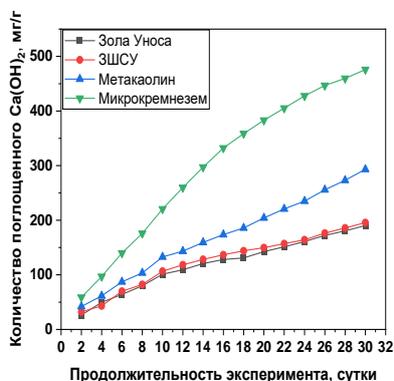


Рис.1. Количество поглощённого Ca(OH)<sub>2</sub> добавками

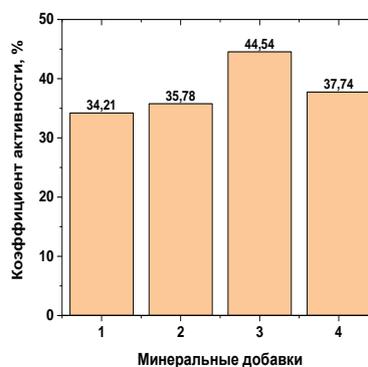


Рис.2. Коэффициент активности минеральных добавок. 1-ЗУ; 2-МТК; 3-МК; 4-ЗШС

Зола уноса и метакаолин продемонстрировали (рис.2) схожие значения коэффициента активности, составив 34,21 и 35,78% соответственно, что позволяет классифицировать эти материалы как активные ( $K_a$  в диапазоне от 21 до 50%). Установлено, что коэффициент активности золошлаковой смеси составляет 37,74%.

В отличие от трех других материалов микрокремнезем показал значительно более высокий уровень активности с коэффициентом активности 89,18%. Это позволяет отнести его к «высокоактивным» материалам ( $K_a$  в диапазоне от 51% до 100% и выше).

На графике (рис.4) показаны показатели распыла мини-конуса для СП: PR-196, RS-1, Poliplast 956 и Chryso Delta 6328. Параметр распыла отражает текучесть и способность СП снижать водоцементное отношение при сохранении подвижности. PR-196 даёт наибольший распыл на пике, указывая на сильное электростатическое отталкивание и выраженный стерический эффект. RS-1 отличается более плавным ростом кривой и стабилизацией на плато ближе к финалу, поддерживая текучесть в течение длительного времени. Poliplast 956 демонстрирует стабильное увеличение распыла с высокими

значениями на промежуточных стадиях, что говорит об эффективном поддержании подвижности. Chryso Delta 6328 имеет самый низкий показатель расплыва, быстро достигая плато и сохраняя невысокую текучесть. Сравнительный анализ показывает, что PR-196 наиболее эффективен по максимальному расплыву, RS-1 и Poliplast 956 обеспечивают длительную текучесть, а Chryso Delta 6328 может быть менее подходящим для задач, требующих высокой подвижности.

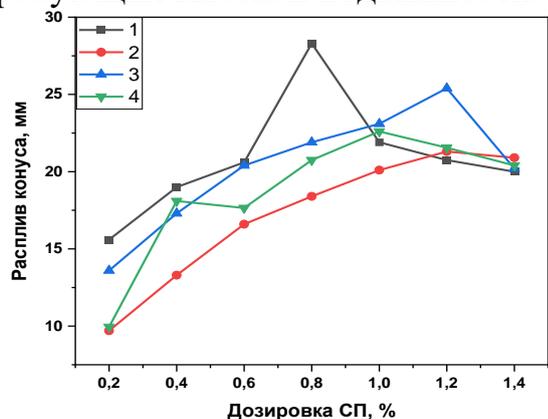


Рис.3. Показатели расплыва мини-конуса образцов. 1-PR-196; 2-RS-1; 3-Poliplast 956; 4-Chryso Delta 6328

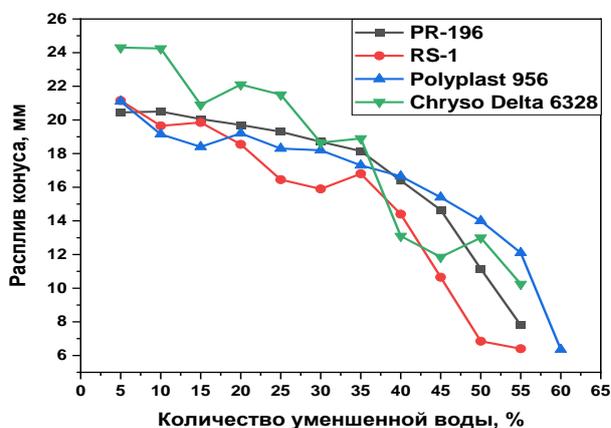


Рис.4. Количество уменьшенной воды с оптимальными дозировками образцов

В ходе экспериментов изучено влияние четырёх суперпластификаторов (PR-196, RS-1, Poliplast 956, Chryso Delta 6328) на текучесть цементных паст и оптимальное водосодержание. Все добавки демонстрируют характерную S-образную зависимость: по мере увеличения дозировки расплыв сначала растёт, достигает пика (точка насыщения), а затем снижается из-за перенасыщения системы. Оптимальные дозировки (PR-196: 0,8%, RS-1: 1,2%, Poliplast 956: 1,0%, Chryso Delta 6328: 1,0%) дают максимальную текучесть, но её избыток ухудшает реологию смеси (рис.5). При уменьшении воды на 30–40% сохраняется достаточная подвижность; дальнейшее снижение ведёт к резкому падению расплыва из-за агломерации частиц. Наиболее стабильными в заданном диапазоне оказались PR-196 и Chryso Delta 6328, а RS-1 проявил универсальные свойства при пониженном водосодержании. Poliplast 956 наиболее эффективен в зоне своей оптимальной дозировки (1,0%). Исследования подтверждают, что правильный выбор суперпластификатора и дозировки, а также контроль снижения воды обеспечивают надёжное повышение текучести и прочностных характеристик цементного камня.

Из графика (рис.5) анализа теплового потока можно заключить, что использование суперпластификаторов существенно влияет на интенсивность и кинетику гидратационных процессов в цементных системах. Поликарбоксилатные СП, такие как RS-1, обеспечивают наиболее выраженное ускорение начальной стадии гидратации за счёт эффективной дисперсии цементных частиц, что увеличивает площадь взаимодействия цемента с водой. Сульфонафталин формальдегидные СП (Poliplast 956) демонстрируют схожее, но менее интенсивное действие с небольшим смещением пика тепловой активности. Смешанные СП (Chryso Delta 6328) показывают комбинированный

эффект, обусловленный взаимодействием компонентов, таких как лигносульфонаты и поликарбоксилаты, что позволяет достичь сбалансированной эффективности. Все СП способствуют увеличению теплового потока на начальных стадиях, однако, их эффективность и оптимальные условия применения зависят от состава и механизма действия. Таким образом, выбор типа и дозировки СП имеет ключевое значение для управления гидратацией и улучшения свойств цементных систем.

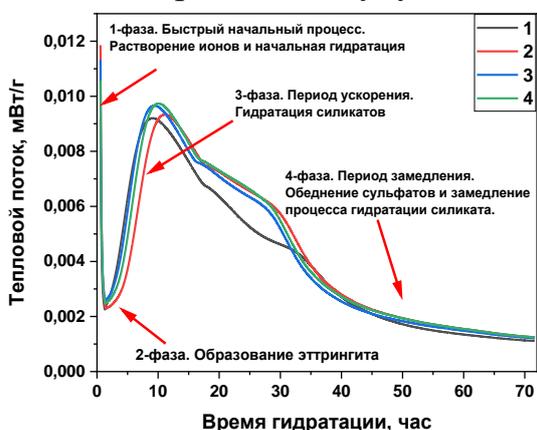


Рис.5. Тепловой поток портландцемента с суперпластификаторами. 1-контрольный образец, 2-RS-1, 3-Polyplast 956, 4-Chryso Delta 6328

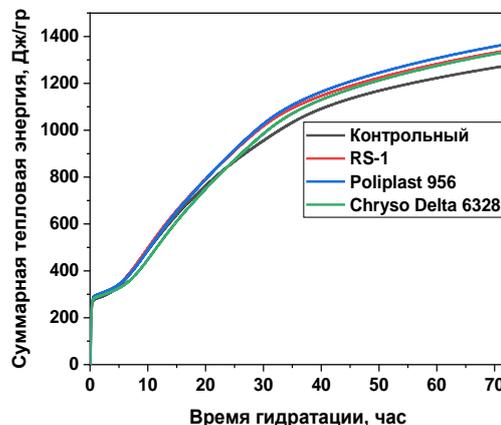


Рис.6. Суммарная тепловая энергия портландцемента с суперпластификаторами.

Калориметрический анализ показал (рис.6), что суперпластификаторы существенно влияют на кинетику и теплоту гидратации портландцемента. Контрольный образец без добавок демонстрирует наименьшую тепловую энергию (около 1300 Дж/г), что связано с медленным протеканием гидратации. Поликарбоксилатные СП, такие как RS-1 и PR-196, увеличивают тепловую энергию (до 1350 Дж/г), ускоряя гидратацию и обеспечивая более полное взаимодействие цементных фаз с водой. PR-196 снижает интенсивность раннего тепловыделения, что предотвращает перегрев массивных конструкций и способствует равномерному набору прочности. Poliplast 956 и Chryso Delta 6328 также повышают тепловыделение, но их действие начинается с некоторым запаздыванием.

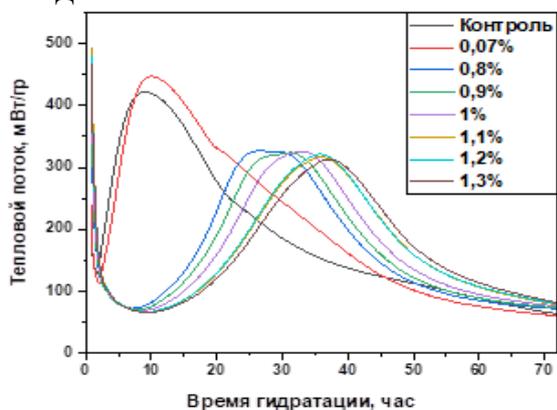


Рис.7. Тепловой поток портландцемента с суперпластификатором PR-196

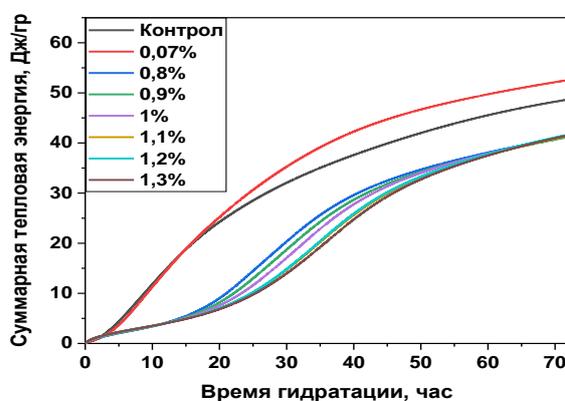


Рис.8. Суммарная тепловая энергия портландцемента с суперпластификатором PR-196

Применение СП позволяет улучшить дисперсию цемента, снизить

водоцементное отношение и уменьшить пористость, что повышает прочностные характеристики и долговечность цементного камня.

Результаты исследования показали, что суперпластификатор PR-196 оказывает существенное влияние на тепловыделение, скорость гидратации и прочностные характеристики цементного камня. PR-196 замедляет раннюю гидратацию  $C_3S$  и  $C_3A$ , предотвращая перегрев и обеспечивая равномерное распределение температуры, что снижает риск термических трещин. На поздних стадиях гидратации (после 20 ч) эффект PR-196 уменьшается, а вклад  $C_2S$  и  $C_4AF$  способствует стабилизации процесса. Снижение водоцементного отношения благодаря PR-196 повышает прочность цементного камня, особенно на поздних стадиях твердения. График суммарной тепловой энергии (рис. 8) демонстрирует равномерное накопление энергии в контрольном образце, достигая 55 Дж/г за 70 ч, что подтверждает нормальную скорость и полноту гидратации.

В исследовании представлена детализированная картина влияния поликарбоксилатного СП PR-196 на процесс гидратации цементных смесей с различными концентрациями добавки. В исследовании представлены данные (рис. 7) о влиянии поликарбоксилатного суперпластификатора (СП) PR-196 на процесс гидратации цементных смесей при разных концентрациях добавки. PR-196 замедляет раннюю гидратацию фаз  $C_3S$  и  $C_3A$  за счёт адсорбции на поверхности частиц цемента, что снижает интенсивность и задерживает тепловыделение. Это замедление предотвращает пик тепловыделения, обеспечивает равномерное распределение температуры и снижает риск термических трещин, что особенно важно для массивных конструкций. На поздних стадиях (после 35 ч) PR-196 продолжает влиять на гидратацию, обеспечивая более плавное завершение процесса за счёт замедленного взаимодействия фаз  $C_2S$  и  $C_4AF$ , которые вносят вклад в долговечность цементного камня. Механизмы действия PR-196, включая электростатическое отталкивание и стерическое препятствие, способствуют улучшению диспергирования цемента, повышают его текучесть и снижают потребность в воде, улучшая структурные и долговечные характеристики материала.

Теория Дерягина, Ландау, Фервея и Овербека (ДЛФО) описывает стабильность коллоидных систем через баланс электростатического отталкивания и ван-дер-ваальсового притяжения. Суперпластификаторы изменяют дзета-потенциал цементных частиц, усиливая отталкивание и повышая стабильность системы. Поэтому исследованы данные эксперименты, так как чем выше абсолютная величина дзета-потенциала, тем лучше дисперсия и текучесть цементных суспензий.

На графике (рис. 9) представлены значения дзета-потенциала для цементных систем с различными суперпластификаторами. Контрольный образец демонстрирует умеренный дзета-потенциал, указывающий на слабое отталкивание и склонность к агрегации частиц. Chryso Delta 6328 имеет пониженный дзета-потенциал, что свидетельствует об ограниченном влиянии на диспергирование частиц цемента. RS-1 показывает высокий начальный пик дзета-потенциала, улучшающий текучесть, но с быстрым снижением, что

указывает на нестабильность эффекта. Polyplast 956 демонстрирует самый низкий дзета-потенциал, обеспечивая сильное и стабильное электростатическое отталкивание между частицами, препятствуя агрегации и поддерживая текучесть цементной суспензии на длительных временных интервалах.

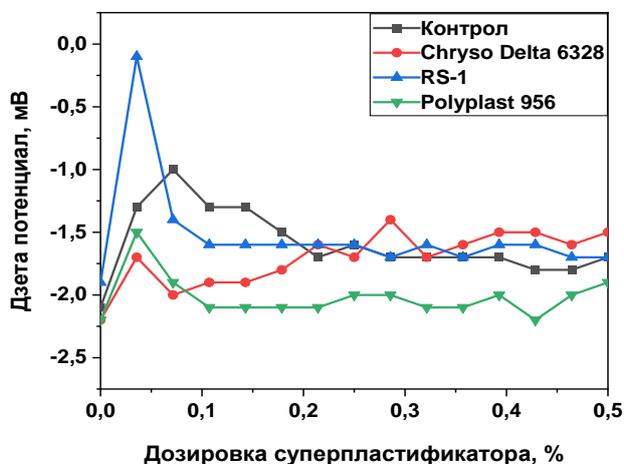


Рис.9. Дзета-потенциал образцов портландцемента с суперпластификаторами

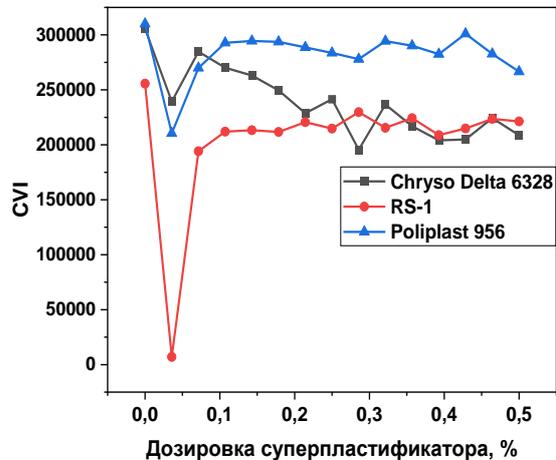


Рис.10. Коллоидный вибрационный ток образцов портландцемента с суперпластификаторами

На графике (рис. 10) представлены значения коллоидно-вибрационного тока (CVI) отражающие подвижность частиц и стабильность цементных суспензий. СП RS-1 вызывает резкий, но кратковременный пик CVI, указывая на временное повышение подвижности частиц. Chryso Delta 6328 демонстрирует умеренные и стабильные значения CVI, что свидетельствует о его мягком и стабилизирующем воздействии на суспензию. Polyplast 956 обеспечивает самые высокие и устойчивые значения CVI, что говорит о его способности предотвращать агрегацию частиц и поддерживать их высокую подвижность, улучшая текучесть и стабильность системы. Поликарбоксилатные СП наиболее эффективно снижают вязкость, усиливая электростатическое и пространственное отталкивание, тогда как лигносульфонатные и сульфонафталиновые СП оказывают менее выраженный эффект, что связано с большим вкладом ван-дер-ваальсовых взаимодействий.

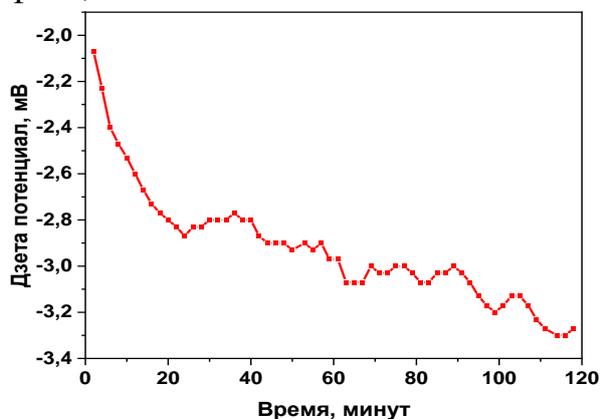


Рис.11. Дзета-потенциал портландцемента с суперпластификатором PR-196

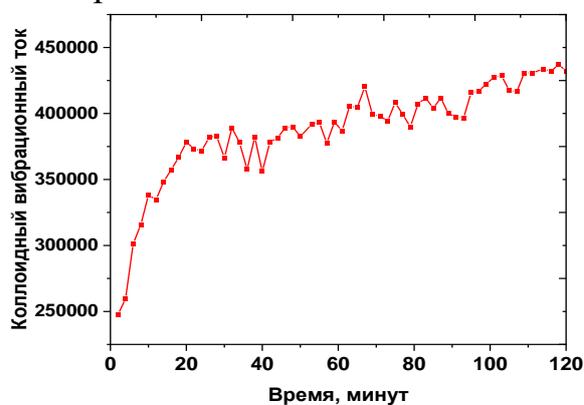


Рис.12. Показатель коллоидной вибрационного тока портландцемента с суперпластификатором PR-196

СП PR-196 оказывает комплексное воздействие на кинетику гидратации

цемента за счет создания электростатического отталкивания (рис.11) на начальной стадии и постепенного снижения дзета-потенциала на поздних стадиях. На начальной стадии высокий дзета-потенциал способствует улучшенной диспергируемости частиц, замедляя начальную стадию схватывания и обеспечивая равномерное тепловыделение. По мере снижения дзета-потенциала система переходит к более плотной упаковке и стабилизированному состоянию, где кинетика гидратации замедляется, что приводит к продолжительному набору прочности. Таким образом, PR-196 способствует контролируемой гидратации цемента, улучшая его структуру и обеспечивая долговременную прочность, что важно для массивных конструкций и других приложений, требующих устойчивости к термическим и механическим нагрузкам.

На данном графике (рис.12) представлен коллоидно-вибрационный ток для СП PR-196, что позволяет оценить подвижность и распределение зарядов в системе цементной суспензии. СП PR-196 оказывает значительное влияние на электрокинетические свойства цементных суспензий, что подтверждается высоким коллоидно-вибрационным током на начальном этапе. Адсорбируясь на поверхности частиц цемента, молекулы PR-196 вводят карбоксилатные группы ( $-\text{COO}^-$ ), увеличивая дзета-потенциал и усиливая электростатическое отталкивание между частицами. Это предотвращает агрегацию, улучшает диспергируемость частиц и обеспечивает их равномерное распределение в системе, что особенно важно на ранних стадиях гидратации. Помимо электростатического эффекта, PR-196 создает стерическую стабилизацию за счёт длинных боковых цепей, формирующих физический барьер между частицами. Такой комплексный механизм способствует высокой стабильности и текучести цементных суспензий, поддерживая их равномерное гидратирование.

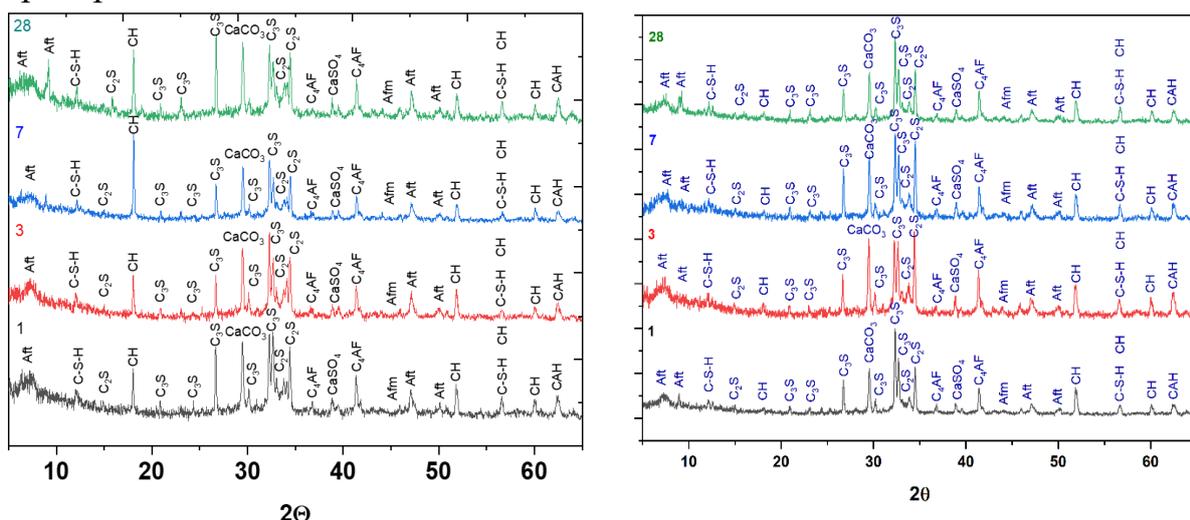


Рис. 13. Рентгенофазовый анализ кинетики гидратации образцов портландцемента без суперпластификатора и с суперпластификатором

Гидратация портландцемента начинается с контакта цементного порошка с водой, что вызывает химические реакции, приводящие к образованию фаз, таких как гидросиликаты кальция (C-S-H), гидроксид кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), гидратированные сульфоалюминаты и ферриты. Эти процессы формируют

микроструктуру цементного камня и определяют его физико-химические и механические свойства (рис. 14).

На основании анализа рентгеновских дифрактограмм ПЦ с поликарбоксилатным СП PR-196 (рис.13) на стадиях гидратации 1, 3, 7 и 28 суток были выявлены ключевые изменения в фазовом составе цементного камня, отражающие процесс гидратации клинкерных фаз и формирование гидратных продуктов. Анализ рентгеновских дифрактограмм показал, что гидратация ПЦ с добавлением СП PR-196 на стадиях 1, 3, 7 и 28 суток приводит к значительным изменениям фазового состава цементного камня. На ранней стадии (1-е сутки) формируются эттрингит, гель C-S-H и портландит, при этом PR-196 обеспечивает равномерное распределение воды и ускоряет гидратацию  $C_3S$ . На 3-е сутки усиливается накопление геля C-S-H и продолжается гидратация  $\beta$ - $C_2S$ , что стабилизирует эттрингит. К 7 суткам пик C-S-H достигает максимума, гидратация  $C_3S$  завершается, а PR-196 способствует предотвращению роста крупных кристаллов. На 28-е сутки структура цементного камня уплотняется, гель C-S-H становится доминирующей фазой, завершается образование портландита, а остаточный  $\beta$ - $C_2S$  продолжает гидратироваться. PR-196 способствует формированию плотной и однородной структуры, улучшая прочность и долговечность цементного камня.

Сравнение данных XRD и FTIR позволяет проследить за изменением кристаллических и аморфных фаз на разных стадиях гидратации. Данные рентгеновской дифракции и ИК-спектроскопии подтверждают, что добавка поликарбоксилатного СП PR-196 оказывает значительное влияние на процесс гидратации цемента.

Портландцемент является ключевым вяжущим материалом, и его свойства, такие как прочность и сроки схватывания, критически важны для долговечности конструкций. Добавление суперпластификатора PR-196 на основе поликарбоксилатного эфира улучшает диспергирование цементных частиц за счёт электростатических и стерических эффектов, снижая вязкость и водоцементное отношение. Это ускоряет гидратацию, способствует равномерному распределению частиц и формированию плотной микроструктуры цементного камня. Микроструктурный анализ подтверждает снижение пористости и дефектов, что приводит к повышению прочности и улучшению свойств смеси.

В четвёртой главе под названием **«Свойства самоуплотняющихся бетонных смесей и бетонов на основе местного сырья»** приведены результаты экспериментальных исследований по оптимизации состава самоуплотняющегося бетона и его физико-механические характеристики.

Разработка и оптимизация состава СУБ смесей представляет собой сложный многопараметрический процесс, включающий выбор компонентов, их пропорций и методов введения. Основными задачами являются обеспечение требуемыми реологическими характеристиками бетонной смеси, такими как подвижность, тиксотропность и устойчивость к расслоению, а также достижение высоких механических свойств и долговечности бетона. При этом важно учитывать как свойства отдельных компонентов (цемента, заполнителей,

добавок), так и их взаимодействие в составе бетонной смеси.

Распływ конуса (табл.1) определяли измерением диаметра расплыва бетонной смеси, а для определения прочностей при сжатии бетона изготавливали образцы - кубы с размерами ребра 10x10 см, прочность которых определяли в возрастах 2, 7 и 28 суток нормального твердения.

Анализ уравнения регрессии и графиков показывает, что текучесть бетонной смеси (распływ конуса) зависит от содержания цемента ( $X_1$ ). При низких значениях  $X_1$  (-1) текучесть снижается из-за недостаточной связности смеси, тогда как увеличение  $X_1$  до 0 и 1 улучшает распływ благодаря более плотной и однородной структуре. Однако чрезмерное увеличение цемента может повысить вязкость и снизить текучесть, что подчеркивает необходимость сбалансированного соотношения компонентов для оптимизации свойств СУБ.

После проведения серий экспериментов, расчетов, проверки адекватности получены следующие уравнения регрессии описывающие влияние содержания в  $1 \text{ м}^3$  самоуплотняющейся бетонной смеси портландцемента ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), суперпластификатора ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) и воды ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) на прочность самоуплотняющейся бетонной смеси в одно, семи и 28 суточном возрастах:

для 1 суточного возраста:

$$R_{\text{сж}}^1 = 7.67 + 3.652X_1 - 0.86X_2 - 0.628X_3 - 0.248X_1X_2 - 0.81X_1X_3 - 1.068X_2X_3 - 0.88X_1X_2X_3$$

для 7 суточного возраста:

$$R_{\text{сж}}^7 = 60.55 + 12.05X_1 + 1.65X_2 - 1.65X_3 - 0.281X_1X_2 - 1.454X_1X_3 + 0.97X_2X_3 - 0.88X_1X_2X_3$$

для 28 суточного возраста:

$$R_{\text{сж}}^{28} = 74.95 + 7.61X_1 + 4.44X_2 - 4.66X_3 - 3.07X_1X_2 + 2.6X_1X_3 + 2.57X_2X_3 - 2.06X_1X_2X_3$$

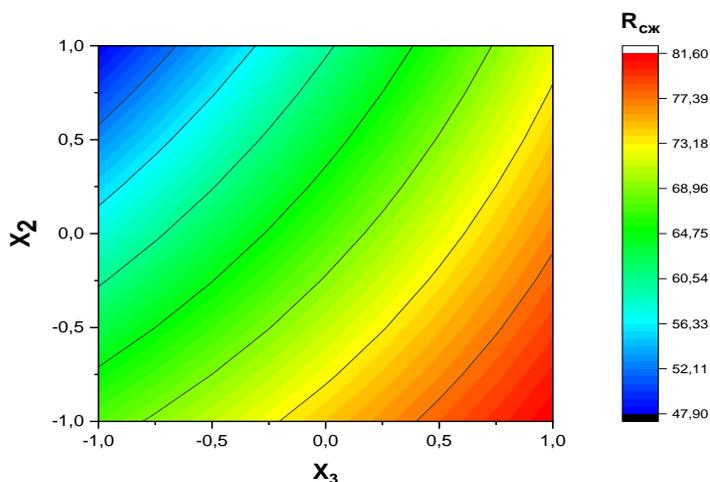


Рис. 14. График изолиний прочности СУБ в возрасте 28 суток при фиксированном значении факторов  $X_1=-1$  в зависимости от изменений факторов  $X_2$  (дозировка суперпластификатора) и  $X_3$  (вода)

Анализ уравнения регрессии и графических изображений (рис. 14)

показывает, что коэффициенты также представляют индивидуальные эффекты каждого ингредиента, предполагая, что все остальные переменные остаются постоянными.

Анализ уравнения регрессии и прочностных характеристик СУБ показал, что цемент ( $X_1$ ) является основным компонентом, определяющим долгосрочную прочность, с положительным эффектом (+7.61), связанным с образованием гидратных фаз. СП ( $X_2$ ) улучшает реологию и плотность смеси (+4.44), однако, избыток СП может замедлить гидратацию цемента ( $-3.07X_1X_2$ ). Вода ( $X_3$ ) необходима для гидратации, но её избыток увеличивает пористость и снижает прочность ( $-4.66$ ). Взаимодействия между компонентами, такие как положительный эффект цемента и воды ( $+2.6X_1X_3$ ) или СП и воды ( $+2.57X_2X_3$ ), подчеркивают важность точного баланса состава. Составы с умеренной начальной активностью демонстрируют оптимальное развитие прочности от 1 до 28 суток, формируя плотную микроструктуру. Высокая начальная прочность может препятствовать дальнейшему приросту из-за быстрого истощения гидратационного потенциала, что подтверждает важность контроля всех факторов для достижения долговременной прочности.

Представленные данные в табл. 1 демонстрируют основные характеристики прочности СУБ смесей в различных испытаниях: кубическая прочность через 28 суток, призмная прочность и предел прочности при изгибе. Эти показатели являются ключевыми для оценки структуры и механических свойств бетонных материалов.

Таблица 1

Механические свойства составов самоуплотняющихся бетонов

№	R, МПа	R <sub>b</sub> , МПа	k= R <sub>b</sub> /R	ε <sub>b</sub> , ГПа	R <sub>bt</sub> , МПа	μ
1	67,34	55,42	0,823	33,7	6,333	0,155
2	74,95	68,2	0,91	37,5	7,4715	0,164
3	82,56	65,22	0,79	38,5	7,6785	0,168

\*R-кубическая прочность, R<sub>b</sub>-призмная прочность, R<sub>bt</sub>-изгиб при сжатии, ε<sub>b</sub>-модуль упругости, μ- коэффициент Пуассона

Таким образом, результаты исследования указывают на значительное влияние состава бетонной смеси на механические свойства материала. Состав №1 показывает оптимальные показатели прочности при малом количестве цемента чем остальные составы, состав №2 отличается повышенной устойчивостью к изгибу, а состав №3 демонстрирует максимальные значения прочности на сжатие.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов проведенных экспериментально-теоретических исследований по диссертации доктора философии на тему (PhD) «Самоуплотняющийся бетон на основе местного сырья» были сформулированы следующие выводы:

1. Установлена последовательность пуццолановой активности минеральных добавок: микрокремнезем > метакаолин > зола шлаковая смесь > зола уноса. Эти данные позволяют рационально использовать добавки для повышения прочностных характеристик бетона.

2. Определены оптимальные дозировки суперпластификатора и минеральных добавок для улучшения реологических свойств бетонных смесей, что позволяет минимизировать водоцементное отношение и добиться высокой текучести без сегрегации компонентов.

3. Подтверждена эффективность суперпластификаторов PR-196 в улучшении реологических, физических и механических свойств бетона, обеспечивая равномерное заполнение сложных форм без вибрации и минимизацию пластической усадки.

4. Обоснован механизм формирования структуры цементного камня с учетом действия суперпластификатора PR-196, который оказывает комбинированное стерическое и электростатическое воздействие, способствуя равномерному распределению цементных частиц и улучшению гидратации.

5. С помощью рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии выявлена кинетика гидратации клинкерных минералов и механизм формирования микроструктуры цементного камня в системе «портландцемент-суперпластификатор PR-196-вода», что позволило уточнить пути оптимизации состава бетонов.

6. Разработаны энергоэффективные составы самоуплотняющихся бетонов на основе местного сырья, модифицированные суперпластификатором PR-196 и активными минеральными добавками, обеспечивающие высокие физико-механические и эксплуатационные свойства.

7. Разработаны принципы выбора компонентов для самоуплотняющегося бетона, обеспечивающие рациональное использование местного сырья и вторичных материалов с учетом их физических, химических и технологических характеристик.

8. Достигнуто производство самоуплотняющегося бетона класса В65, обладающего высокой прочностью, что подтверждено экспериментальными исследованиями и внедрением в производство ООО «DURABLE STONE». Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения составила 102 164,89 сумов за один метр куб (по ценам 2024 г.).

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.26/30.12.2019.T.11.01 AWARDING THE  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT UNIVERSITY OF  
ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING**

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND CIVIL  
ENGINEERING**

**ABDAZOV DILSHOD RAXMADJON O‘G‘LI**

**SELF-COMPACTING CONCRETE BASED ON LOCAL RAW MATERIALS**

**05.09.05 – “Construction materials and products”**

**ABSTRACT**

**of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) on Technical Sciences**

**Tashkent-2025**

**The topic of the doctoral dissertation is registered with the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number № B2024.2.PhD/T4761**

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

Dissertation abstract in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)), on the Web pages at ([www.taqu.edu.uz](http://www.taqu.edu.uz)) and information and educational portal “ZiyoNet” ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Scientific supervisor:** **Kamilov Khabibilla Khamidovich**  
Doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** **Soy Vladimir Mikhailovich**  
Doctor of Technical Sciences, professor

**Sottikulov Elyor Sotimboyevich**  
Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher

**Lead organization:** **Fergana State Technical University**

Thesis defense will take place on May 30<sup>th</sup>, 2025 at 10<sup>00</sup> at the Scientific Council DSc.26/30.12.2019.T.11.01 at the Tashkent University of Architecture and Civil Engineering (Address: 100194, Tashkent city, Yunusabad district, st. Yangi shahar, house 9. Building 4, 5<sup>th</sup> floor. Tel.: (99855) 508 02 95; fax: (99855) 508 50 06, e-mail: [devon@taqu.edu.uz](mailto:devon@taqu.edu.uz)).

The dissertation can be found at the Information Resource Center of the Tashkent University of Architecture and Civil Engineering (registration number №148). (Address: 100194, Tashkent city, Yunusabad district, st. Yangi shahar house 9. Tel.: (99855) 508 02 95; fax: (99855) 508 50 06, e-mail: [devon@taqu.edu.uz](mailto:devon@taqu.edu.uz)).

The dissertation abstract has been sent out May 17<sup>th</sup>, 2025 y.  
(Register of the mailing protocol №54 from March 17<sup>th</sup>, 2025 y.).

**Kh.A. Akramov**

Chairman of the scientific council for awarding academic degrees, Doctor of technical sciences, professor

**I.I. Siddiqov**

Scientific secretary of the scientific council for the award of doctoral degrees, Doctor of technical sciences, docent

**B.A. Asqarov**

Chairman of the scientific seminar under the Scientific council for award academic degrees, Doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of doctoral dissertation)

**The aim of the research** is to develop self-compacting concrete mixtures using local raw materials and to investigate their properties.

**Research objectives:**

determination of the pozzolanic activity of materials used as mineral additives;  
identification of the type of chemical admixtures and selection of the most suitable ones for producing self-compacting concrete;

determination of the influence of superplasticizers on the rheological and physicochemical properties of cement paste;

determination of the optimal amount of mineral additives and superplasticizers to improve the rheological properties of self-compacting concrete mixtures;

development and optimization of the self-compacting concrete mix composition;  
investigation of the properties of self-compacting concrete.

**The scientific novelty of the research consists of following:**

It was established that the mineral additives used were arranged in the following sequence according to pozzolanic activity: “microsilica > metakaolin > fly ash mixture > fly ash” and absorbed  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in the amount of 475.86, 293.16, 195.56, 190.26 mg/g, respectively;

by analyzing IR spectrograms and X-ray diffraction patterns of cement stones hardening for different periods of time, the influence of the PR-196 superplasticizer on cement hydration and the mechanism of formation of the structure of cement stone was established;

as a result of determining the value of -3.3 mV zeta potential between cement particles in a suspension consisting of Portland cement particles, superplasticizer and water, it was established that superplasticizer PR-196 has not only a steric but also an electrostatic mechanism of action;

as a result of X-ray phase and IR spectroscopic analyses, it was established that the kinetics of hydration of clinker minerals and the mechanism of formation of new minerals in cement stone based on the “Portland cement-superplasticizer PR-196-water” system are optimally achieved with a plasticizer dosage of 0.8% by weight of cement.

**Approbation of research results.** The results of this study have been tested and presented in the form of reports at 4 international and 2 national scientific-technical and scientific-practical conferences.

**Publication of research results.** A total of 14 scientific papers have been published on the dissertation topic. Among them, 8 are scientific articles, including 5 in international journals and 3 in national journals recommended by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science, and Innovation of the Republic of Uzbekistan for publishing the main scientific results of PhD dissertations in technical sciences.

**Structure and Scope of the dissertation.** The dissertation content consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references and appendices. The dissertation volume is 119 pages.

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

**I bo'lim (I часть, I part)**

1. Камилов Х.Х., Абдазов Д.Р., Тўрахонов С.И. Исследования дзета потенциала суперпластификаторов в цементных вяжущих. Ilmiy-amaliy jurnal "Arxitektura, Qurilish va Dizayn". №3, 2023, - Toshkent, 2023 y. 208-211-b. (05.00.00 №4)

2. Kamilov Kh.Kh., Abdazov D.R., Kamilov Sh.Kh., Turakhanov S.I. Evaluation of the influence of superplasticizer type on chemical and rheological stability of cement mortars. Ilmiy-amaliy jurnal "Arxitektura, Qurilish va Dizayn". №3, 2024, - Toshkent, 2024 y. 521-527-b. (05.00.00 №4)

3. Камилов Х.Х., Абдазов Д.Р., Камилов Ш.Х., Тўрахонов С.И. Влияние поликарбоксилатного суперпластификатора на раннюю гидратацию портландцемента. Ilmiy-amaliy jurnal "Arxitektura, Qurilish va Dizayn". №3, 2024, - Toshkent, 2024y. 531-538-b. (05.00.00 №4)

4. Kamilov Kh.Kh., Abdazov D.R., Superplasticizers for mortars and concretes. reviewarticle, Central asian journal of mathematical theory and computer sciences, Volume 4, Issue 6, 2023, p.24-37 ((SJIF 2022), 9,41 (ResearchBib).)

5. Kamilov Kh.Kh., Mukhamedbaev A.A., Abdazov D. R., "Influence of Fly Ash on The Grindability of Electrothermophosphorus Slag." International journal of scientific research in science, engineering and technology, 8 (2021).:536-543. doi: 10.32628/IJSRSET2183180 (SGIF 2021 IF: 6.003)

6. Камилов Х.Х., Абдазов Д.Р. Определение эффективности пластифицирующих добавок. Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. 12(129), с.55-59 (02.00.00 №1)

7. Камилов Х.Х., Абдазов Д.Р. Исследование влияния поликарбоксилатного суперпластификатора на кинетику гидратации портландцемента. Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. 12(129), с.50-54 (02.00.00 №1)

8. Kamilov Kh.Kh., Shakirov T.T., Muminova N.A., Abdazov D.R. Porous aggregate developed with the use of coal-containing clays of the Angren field. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assest Engineering, 2024, vol. 335, no. 11, pp. 87–103.DOI: 10.18799/24131830/2024/11/4476 (Scopus Q3)

**II bo'lim (II часть, II part)**

9. Абдазов Д.Р., Камилов Х.Х., Тўрахонов С.И. Исследование кинетики измельчения клинкеров в лабораторных мельницах. "Zamonaviy qurilish materiallari va buyumlarini ishlab chiqarishda fan, ta'lim va ishlab chiqarish korxonalarini integrasiyasini takomillashtirishning yechimlari" mavzusida xalqaro miqyosdagi ilmiy-texnik konferensiya materiallari to'plami. SamDAQI, 27-28 oktyabr 2022 yil, 81-83-b.b.

10. Камилов Х.Х., Абдазов Д.Р., Тўрахонов С.И. Инновационные 3D технологии в строительстве. «Қурилишда инновациялар, бинолар ва иншоотларнинг сеймик хавфсизлиги» Халқаро миқёсидаги илмий ва илмий-техник конференция материаллари тўплами. НамМҚИ 15-17 декабрь, 2022 йил, 287-293-б.б

11. Камилов Х.Х., Абдазов Д.Р., Тўрахонов С.И. Исследования дзета потенциала суперпластификаторов в цементных вяжущих. “Zamonaviy qurilish sohasida ta’lim, ilm va innovatsiya” mavzusida xalqaro miqyosdagi ilmiy-texnik konferensiya materiallari to’plami. TAQU, 20-21-Sentyabr 2023-yil, 251-255-b.b.

12. Камилов Х.Х., Абдазов Д.Р., Влияние суперпластификаторов на кинетику гидратации портландцемента: сравнительный анализ калориметрических данных, “Mahalliy xom shyolar asosida innovatsion qurilish materiallarini ishlab chiqarish” xalqaro ilmiy-amaliy anjuman maqolalari to’plami, TAQU, 15-16 oktyabr 2024-yil, 272-278 b.

13. Khabibilla Kh.Kamilov, Dilshod R.Abdazov, Safarali I.Turahanov, Bakitjan K. Sarsenbaev , Eldar Amanov. Assessment of pozzolanic activity of mineral additives to concrete and mortar. Proceeding X International Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE - 2023, Volume II, M. Auezov South Kazakhstan University. Shymkent, Kazakhstan November 18, 2023, 221-225 b.

14. Камилов Х.Х., Абдазов Д.Р., Тўрахонов С.И. Самоуплътняющийся бетон: история и перспектива. “Farg’ona vodiysida fan va texnologiya” respublika ilmiy konferensiya materiallari to’plami, Namangan shaxri, 11-12 may 2023 yil, b.b. 461-463

Avtoreferat «Arxitektura. Qurilish. Dizayn» ilmiy-amaliy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar mosligi tekshirildi.  
(15.03.2025 y.)

Bichimi: 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, “Times New Roman”  
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i 2,8. Adadi: 80. Buyurtma: 80  
Tel (90) 327 82 02  
“Max-Pristil” MCHJ bosmaxonasida chop etildi.  
Manzil: 100095, Toshkent shahar, Olmazor tumani, Ziyo ko‘chasi, 6-uy.