

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

TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI

ERGASHOV JASURBEK DILMURODOVICH

EGILUVCHI TEMIRBETON ELEMENTLARDA QO‘LLANILADIGAN
BAZALTFIBROBETONNING MUSTAHKAMLIK VA DEFORMATSION
XUSUSIYATLARINING O‘ZIGA XOSLIGI

05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlari

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi

AVTOREFERATI

Toshkent– 2025

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

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

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

Ergashev Jasurbek Dilmurodovich

Egiluvchi temirbeton elementlarda qo‘llaniladigan bazaltfibrobetonning
mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarining o‘ziga xosligi..... 3

Особенности прочностных и деформационных характеристик
базальтофибробетона, применяемого в изгибаемых
железобетонных элементах 27

Features of strength and deformation characteristics of basalt fiber
concrete used in flexible reinforced concrete elements..... 53

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati
Список опубликованных работ
List of published works..... 58

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

TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI

ERGASHOV JASURBEK DILMURODOVICH

EGILUVCHI TEMIRBETON ELEMENTLARDA QO‘LLANILADIGAN
BAZALTFIBROBETONNING MUSTAHKAMLIK VA DEFORMATSION
XUSUSIYATLARINING O‘ZIGA XOSLIGI

05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlari

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi

AVTOREFERATI

Toshkent– 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.3.PhD/T4964 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiya Toshkent arxitektura-qurilish universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)), Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.taqi.uz va «ZiyoNet» Axborot-ta’lim portalida www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Akramov Xusnitdin Axrarovich
texnika fanlari doktori., professor

Rasmiy opponentlar:

Siddiqov Ikrom Iminjanovich
texnika fanlari doktori., professor

Yuvmitov Anvar Sayfullayevich
texnika fanlari doktori., k.i.x.

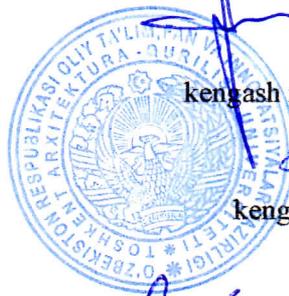
Yetakchi tashkilot:

“O‘zog‘irsanoatloyiha” AJ.

Dissertatsiya himoyasi Toshkent arxitektura-qurilish universiteti huzuridagi DSc.26/30.12.2019.T.11.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil «25» noyabr soat 10⁰⁰ da TAQU 4-bino majlislar zalida bo‘lib o‘tadi (Manzil: 100011, Toshkent sh., Yunusobod tumani, Yangi shahar ko‘chasi 9 uy, 4-bino, 5-qavat Tel/faks (55) 508-50-14, 508-03-12 e-mail: devon@taqu.edu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent arxitektura-qurilish universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№175 raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent sh., Yunusobod tumani, Yangi shahar ko‘chasi 9-uy. Tel.: (+99890) 372-71-94; faks: (+99871) 234-15-11, e-mail: taqi_atm@edu.uz). faks: (99871) 241-80-00, e-mail: taqi_atm@edu.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «11» noyabr kuni tarqatildi.
(2025 yil « 06 » oktyabrdagi 58/2025 - raqamli reestr bayonnomasi).



A.I. Adilxodjaev

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

I.I. Siddiqov

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

B.A. Asqarov

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

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertasiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati. Jahonda qurilish sanoatini samaradorligini oshirish ishlab chiqarishni rivojlantirish bilan bog'liq. Buning uchun zamonaviy texnologiyalarni joriy etish, mehnat sarfini kamaytirish, material va energiya resurslarini tejab ishlatish hamda yangi materiallarni qo'llash tavsiya etiladi. Ushbu yo'nalishlardan biri dispers armaturalangan betonlarni keng qo'llash doirasida olib borilgan ilmiy tadqiqot ishlari dolzarb hisoblanadi, chunki ular hozirgi kunda qurilish sanoatining turli sohalarida qo'llanishi kengayib bormoqda.

Dispers armaturalangan betonlarni konstruksion materiallar orasida kelajagi bor deb hisoblanadi, chunki ular hozirgi kunda sanoatning turli sohalarida keng qo'llanilmoqda. Dispers armaturalash beton matritsa hajmi bo'ylab bir tekis tarqalgan tolalar-fibralar bilan amalga oshiriladi. Hozirgi vaqtda respublikamizda turli tolalarni dispers armatura sifatida qo'llashga qiziqish sezilarli darajada ortib bormoqda. Buning asosiy sabablardan biri bunday betonlarning fizik-mexanik ko'rsatkichlari ancha yuqori bo'lib, zamonaviy qurilish talablariga javob beradi va ularni amaliyotga tadbiq etish masalaning dolzarbligini va zaruratini belgilaydi.

Sement betonlarning cho'zilishdagi yetarli bo'lmagan mustahkamligini oshirish maqsadida tolalardan armatura sifatida foydalanish, betonlarning yangi turini yaratish uchun imkoniyatlar borligini ko'rsatdi. Dispers armaturalangan betonlarning tadqiqoti va ularni qo'llashning tajribasi natijalari shuni ko'rsatdiki, buning oqibatida ijobiy ko'rsatkichlarga erishish mumkin.

Fibra tolalarining xossalari ular asosidagi betonlarni (fibrobeton) xususiyatlarini belgilaydi hamda ishlatish mumkin bo'lgan sohalarini aniqlaydi. Fibra tolalari orasida keng tarqalganlari bu - po'lat, shisha, polipropilen va bazalt tolalari hisoblanadi. Ularni maqsadga muvofiq ishlatish va samaradorligini ta'minlash uchun ko'pgina masalalarga javob topishga to'g'ri keladi. Ulardan asosiylaridan biri bu - fibrobeton xossalari fibra tola turi, ularning beton tarkibidagi optimal miqdori va fibrobetonning o'ziga xos xossalari aniqlanganligi hisoblanadi. Bu masalalarni hal qilishda mahalliy materiallarni qo'llab o'tkaziladigan yangi eksperimental-nazariy tadqiqotlar yordamida o'rganish dolzarb vazifalardan hisoblanadi. Ularning natijalarini amaliyotga qo'llash qurilish sohasining rivojlanishiga muayyan xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fani va texnologiyalari rivojlantirishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi. Mazkur tadqiqot respublika fani va texnologiyalar rivojlantirishining II. "Energetika, energiya va resurstejamkorlik" ustuvor yo'nalishlari doirasida bajarilgan.

Muammoning o'rganganlik darajasi. Fibrobetonlarning va dispers armaturalangan betonlarning o'ziga xos xususiyatlariga bag'ishlangan ilmiy ishlar ko'plab xorijiy va mahalliy olimlar tomonidan olib borilgan. Bulardan xorijda Ayvazyan E.S., Nekrasov V.P., Kapriellov S.S., Perfilov V.A., Puxarenko Yu.V., Panteleev D.A., Rabinovich F.N., Stepanova V.F., Korneeva I.G., Kudyakov K.L., Beddan M., Abdulhadi M., Alexey S., Brik V., Raj S., Abu Mahadi M., Kuldashev K.L.

Respublikamizdan Kasimov E.K., Asqarov B.A., Akramov X.A., Yusupov R.R., Adilxodjaev A.I., Yusufxo'jaev S.A., Samig'ov N.A., Xodjaev S.A., Komilov X.X., Usmonov V.F., Razzakov S.J., Yuvmitov A.S., Berdiev O.B., Muxammadiev N.R.,

Martazaev A.Sh. va boshqa olimlarning ilmiy va eksperimental tadqiqotlariga bag'ishlangan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.

Ushbu tadqiqot bazalt tolalari bilan dispers armaturalangan betonlar va ular asosidagi temirbetonning samaradorligini oshirilishiga qaratilgan bo'lib, davlat dasturlari doirasida Toshkent arxitektura qurilish universitetida bajarilgan IL-722209824 raqamli "Bazalt, metall va shisha asosida standartlarga mos hamda seysmik mustahkamlik konstruksiyasiga ega fibrobeton olish texnologiyasini yaratish" mavzusidagi innovatsion loyiha bo'yicha o'tkazilgan izlanishlar bilan bog'liq, hamda yangi texnologiya asosidagi bazaltfibrobetonlarni joriy qilish bilan uzviy bog'langan.

Tadqiqotning maqsadi bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarini, bazaltfibrotemirbeton egiluvchi elementlarning kuchlanish-deformatsiyalanish holatlarining o'ziga xosliklarini eksperimental-nazariy tadqiqotlar asosida o'rganish hamda ularning hisoblash uslublari bo'yicha taklif va tavsiyalar berishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari. Ushbu dissertatsiyada qo'yilgan maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar shakllantirildi:

- bazalt tolalarini beton hajmi bo'yicha bir tekis taqsimlanishini ta'minlovchi beton qorishmasini tayyorlash texnologiyasini taklif etish;

- optimal tarkibli bazaltfibrobetonlarni mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarini aniqlashga qaratilgan tizimli eksperimentlarni o'tkazish;

- eksperiment natijalari bo'yicha bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarini belgilash bo'yicha takliflar kiritish;

- qisqa muddatli yuklashlardan bazaltfibrotemirbeton egiluvchi elementlarning kuchlanish-deformatsiyalanish holatlarini beton mustahkamligi va armaturalash foizi ta'siridan o'zgarishlarini eksperimental tadqiqoti;

- me'yoriy xujjatlar uslublaridan foydalanib bazaltfibrotemirbeton egiluvchi elementlarni mustahkamlik, darzbardoshlik va deformatsiyalanishlarini hisoblash bo'yicha taklif va tavsiyalar berish.

Tadqiqotning ob'ekti. Bazaltfibrobetonlardan tayyorlangan standart namunalari va egiluvchi temirbeton elementlari.

Tadqiqotning predmeti. Bazaltfibrobetonlarning mustahkamlik va deformatsiya xususiyatlari, temirbeton to'sinlarning mustahkamlik, darzbardoshlik va bikrligining qisqa vaqtli yuklashlar ta'siridan kuchlanish-deformatsiyalanish holati tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Beton namunalari va temirbeton egiluvchi elementlari eksperimental tadqiqotlarini o'tkazishda qo'llaniladigan standart usullaridan foydalanildi. Tadqiqot natijalarini statistik tahlil qilish, mavjud eksperimentlar bilan solishtirish; me'yoriy usullar bo'yicha hisoblashlarni eksperiment natijalari bilan taqqoslash usullaridan foydalanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

- bazaltfibrobeton qorishmasini tayyorlash texnologiyasi bo'yicha berilgan yangi taklifdan foydalanish bazalt tolalarning beton hajmi bo'yicha bir tekis taqsimlanishini ta'minlagan;

- tizimli eksperiment natijalari va ularning nazariy tahlili yordamida

bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlari oddiy betonlarga nisbatan yuqori ekanligi oʻrnatilgan;

- bazaltfibrobeton tarkibiga superplastifikator qoʻshish ushbu betonning mustahkamligini 20-25% oshirishi aniqlandi va ular tarkibining optimal miqdorlarini hisoblash uchun matematik model yaratilgan;

- bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarini oʻziga xosligini ifodalovchi real qiymatlari oʻrnatilgan va beton konstruksiyalarini hisoblashda ularni meʼyorlash boʻyicha takliflar berilgan;

- bazaltfibrobeton namunalariga qisqa muddatli siqilishlar taʼsiridan ularning tarkibida bosqichma-bosqich yuzaga keladigan mikro darzlarning hosil boʻlish parametrlari va buzilish xarakterlari aniqlangan va ularni hisoblash uchun matematik ifoda taklif etilgan;

- bazaltfibrot Demirbeton egiluvchi elementlarining mustahkamligini, darzbardoshligini va deformatsiyalanishini hisoblashda foydalanish uchun amaliy taklif va tavsiyalar berilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari:

oʻtkazilgan tadqiqotlar natijasida bazaltfibrobetonning mustahkamligi boʻyicha, shu jumladan superplastifikator qoʻshilgan betonlarda yangi eksperimental natijalar olingan;

bazaltfibrobeton qorishmasini tayyorlashning taklif etilgan texnologiyasini joriy qilish oʻzining amaliy tasdigʻini isbotladi;

bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarining oʻziga xosliklari bir xil tarkibli xuddi shunday qoʻshimchasiz ogʻir betonlarga nisbatan eksperimentlar natijalari bilan oʻrnatilgan;

egiluvchi bazaltfibrot Demirbeton elementlarining mustahkamligi, darzbardoshligi va deformatsiyalanishining oʻziga xosliklari xuddi shunday qoʻshimchasiz ogʻir betonli toʻsinlarga nisbatan beton mustahkamligi va armaturalash foizining oʻzgarishlari boʻyicha solishtirish orqali oʻrnatilgan;

bazaltfibrot Demirbeton egiluvchi elementlarni meʼyoriy xujjatlar uslublari boʻyicha hisoblash uchun qoʻshimcha taklif va tavsiyalar berilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi: Ushbu tadqiqot natijalarining ishonchliligi eksperimentlarni zamonaviy uslub va asboblardan foydalanib oʻtkazilganligi, olingan natijalarni matematik statistik ishlov berish va hisob natijalarini tajribadan olingan maʼlumotlar bilan solishtirish orqali amalga oshirilganligi orqali isbotlanadi. Tahlillar bazaltfibrobeton va temirbeton elementlar uchun eksperimental va nazariy tadqiqotlarda oʻrnatilgan natijalarga bogʻliq holda oʻtkazilgan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati bazaltfibrobeton mustahkamligi va deformatsion xususiyatlarining muhim jihatlarini hamda bazaltfibrot Demirbeton egiluvchi elementlarining qisqa muddatli yuklanishlardan mustahkamlik, darzbardoshlik va deformatsiyalanishini qarshiligini eksperimental-nazariy tadqiqotlar orqali oʻrnatilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati berilgan taklif va tavsiyalardan foydalanish hisobidan bazaltfibrot Demirbeton konstruksiyalarini loyihalash jarayonida

ularning ishonchliligini, umrboqiyiligini va samaradorligini ta'minlashi bilan aniqlanadi.

Tadqiqot natijalarini joriy qilinishi. Egiluvchi temirbeton elementlarda qo'llaniladigan bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarining o'ziga xosligi bo'yicha olingan natijalar asosida:

bazaltfibrobeton tayyorlash texnologiyasini amaliyotga tadbiiq qilishga mo'ljallangan "Kompozit polimer armaturali yahlit bazaltfibrobeton pollar va gidroizolyatsion qoplamalarni o'rnatish" nomli texnologik reglament tayyorlanib "BASALT HOLDING" MCHJ tomonidan joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2025 yil 25 sentabrdagi №34-06/10906-son ma'lumotnomasi). Natijada, bazaltfibrobeton tayyorlashning yangi texnologiyasi taklif etilgan;

dissertatsiya bo'yicha olingan ilmiy-amaliy tadqiqot natijalari Toshkent arxitektura-qurilish universiteti o'quv jarayoniga tadbiiq etilgan. (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2025 yil 25 sentabrdagi №34-06/10906-son ma'lumotnomasi). Natijada, o'quv jarayoniga qo'llash universitetda tayyorlanayotgan kadrlar sifatini bevosita oshirishga imkon yaratgan;

dissertatsiyaning amaliy tavsiyalari ilmiy loyiha markazi "SILVER STONE PROJECT" MChJga foydalanish uchun berilgan. Dastlabki hisoblarga ko'ra, bazaltfibrobetonlarni yahlit pollar va gidroizolyatsion qoplamalarda qo'llash sement miqdorini $50-75\text{kg/m}^3$ va armatura sarfini $3-5\%$ iqtisod qilish mumkinligini aniqlandi.

Tadqiqot natijalarining aprobatyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 3 ta xalqaro va 1 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qiliganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 21 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 9 ta maqola, 1 ta Scopus xalqaro bazasiga indekslangan konferensiya materiallari, 6 ta maqola xalqaro va 2 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlari to'plamlarida chop etilgan. Bundan tashqari O'zbekiston Respublikasi intellektual mulk agentligi tomonidan kompyuter dasturlari uchun 3 ta guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish qismi, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 120 betdan, 25 ta jadvaldan, 40 ta rasmdan va 6 ta ilovadan tashkil topgan.

DISSERTATSIYANING 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, aprobatyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi haqida ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Fibrobetonlar xossalari o'ziga xosliklari va qo'llanish sohalari**" deb nomlangan birinchi bobida ilmiy - texnik adabiyotlar,

mahalliy va xorijiy nashrlar, qurilish amaliyotida fibro tolalarning ishlab chiqish va qo'llashning bugungi holati va rivojlanishi hamda egilishga ishlovchi konstruksiyalarda fibra tolalardan foydalanish bo'yicha jahon va yurtimizda olib borilgan ilmiy ishlarning nazariy asoslari va amaliy usullari tahlil qilingan.

Ilmiy materiallarining tahlili shuni ko'rsatdiki har xil turdagi fibra tolalarni dispers armatura sifatida qo'llash ma'lum darajadagi texnik samaraga ega. Ularni qo'llanib tayyorlangan fibrobetonlarning siqilishdagi va cho'zilishdagi mustahkamligi 10-30% ga oshishi mumkin hamda tashqi salbiy ta'sirlarga bardoshligi ta'minlanadi. Tadqiqotlarda qo'yiladigan masalalarga qarab, fibrobetonlarning optimal texnologiyasini aniqlash ushbu yo'nalishning asosiy dastlab hal qilinishi dolzarb masaladir. Fibrobetonlarning mustahkamlik va deformatsion xossalarini tadqiq qilish natijalari, ularning o'ziga xos xususiyatlarini aniqlash, ularning samarali qo'llash sohalarini belgilashda muhim o'rin egallaydi.

Bazaltfibrobetondan tayyorlangan egiluvchi temirbeton elementlarni qisqa muddatli yuklar ta'siridan kuchlanish-deformatsiya holatlarini o'ziga xosligini eksperimental va nazariy tadqiq qilish, ularni hisoblash bo'yicha taklif va tavsiyalar berish muhim omil hisoblanadi.

Dissertatsiyaning "**Tadqiqotlarda qo'llanilgan materiallarning xossalari va sinovlarni o'tkazish usullari**" deb nomlangan ikkinchi bobida eksperimental tadqiqotlarda qo'llanilgan materiallarning xossalari, bazaltfibrobeton tayyorlashning yangi texnologiyasi, bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarini eksperimental tadqiqotlari usullari, betonda mikrodarz hosil bo'lish parametrlarini aniqlash, egiluvchi bazaltfibrotemirbeton elementlar konstruksiyasini tayyorlash va sinash usullari keltirilgan.

Bazalt fibralari (ishlab chiqaruvchi "BASALT HOLDING" MChJ) bazalt tolalaridan iborat ma'lum uzunlikdagi bo'laklardan iborat. Uning texnik xususiyatlari quyidagicha:

- rangi bronza rangida;
- zichligi - $2,8 \text{ g/sm}^3$;
- tolalar uzunligi – 10,12,15,20 mm;
- aloxida tolalar diametri – 13-20 mk;
- cho'zilishdagi mustahkamlik - 3500MPa;
- elastiklik moduli - 80 GPa;
- cho'zilish koeffitsienti - 2-4,5%.

Bazaltfibrobeton qorishmasini gravitatsion harakatlanuvchi betonarashtirgichlarda aralashuvi og'irlik kuchining ta'siri hisobidan amalga oshiriladi. Bunda chaqiq tosh va tola qorishmasi tepaga ko'tariladi va pastka tushish harakatlarini navbatma-navbat bajaradi. Dastlabki beton qorishmalarini tayyorlash texnologiyasi laboratoriya sharoitida hajmi 63 l bo'lgan gravitatsion betonarashtirgichda tekshirildi.

Bazaltfibrobeton qorishmasini tayyorlash texnologiyasi bo'yicha berilayotgan tavsiyaga ko'ra aralashtirgichga dastlab 50% chaqiq tosh miqdori yuklanadi va bazalt fibraning bir qismi yuklanib, aralashtirish boshlanadi. Aralashtirish davom etadi, qolgan fibra yana 2-3 bo'laklarga bo'linib tashlanadi va aralashtirish davom ettiriladi.

Soʻngra betonning qolgan tashkil etuvchilari chaqiq tosh, qum, sement va suv qoʻshiladi.

Bazaltfibrobeton qorishmasi tayyorlash texnologiyasi boʻyicha olingan natijalar (qorishmalar holati) 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Bazaltfibrobeton qorishmalarining birinchi (a) va ikkinchi (b) tur boʻyicha tayyorlangandagi holatlari

Shu tartib boʻyicha bazaltfibrobeton qorishmasini tayyorlash bazalt tolalarini alohida-alohida boʻlib ajralishiga va beton hajmi boʻyicha tekis tarqalishiga sharoit yaratadi, chunki yirik toʻldiruvchilar orasidagi maydon ularning hech qanday toʻsiqsiz joylashishiga yetarli boʻladi hamda betondagi sement+qum qorishmasining hajmi ancha ortgan holatga ega boʻladi va uning choʻzilishga boʻlgan mustahkamligi fibrallar xisobidan oshadi.

Ushbu texnologiyani sinash uchun dastlab bazaltfibrobeton tarkibi quyidagicha belgilandi: - sement – 425 kg/m³; chaqiq tosh – 950 kg/m³; qum – 815 kg/m³; bazalt tola – sement massasidan 1%; suv – 210 l/m³.

Ushbu beton tarkibidan tayyorlangan oʻlchamlari 10x10x10 sm boʻlgan beton namunalarning 28 kunlik siqilishga boʻlgan mustahkamlik koʻrsatgichlari 1 jadvalda keltirilgan.

Sinov natijalari

1-jadval

Tayyorlash usuli	Sinash kunidagi beton yoshi, kun	Qoʻshimchasiz beton mustahkamligi, MPa	Bazaltfibro-beton mustahkamligi, MPa	Mustahkamlikning oʻsishi, %
I tur	7	22,6	25,8	14
	14	26,1	30,2	15,8
	28	30,2	34,8	15,2
II tur	7	22,6	26,4	16,8
	14	26,1	31,0	18,7
	28	30,2	34,2	13,2

Olingan natijalarga koʻra, bazaltfibrobetonning siqilishga boʻlgan mustahkamligi qoʻshimchasiz betonning siqilishdagi mustahkamligiga nisbatan oʻrtacha 15% ga oshgan. Bu oʻz navbatida bazaltfibrobeton qorishmasini tayyorlash boʻyicha taklif qilinayotgan texnologiyaning va ogʻir beton tarkibiga bazalt tola qoʻshishning samaradorligini isbotlaydi.

Ushbu natijalarga asoslangan holda o'tkazilayotgan tadqiqotlarning keyingi bosqichida bazaltfibrobetonlarning turli tarkiblarini amalda tekshirishni o'tkazish rejasi tuzildi.

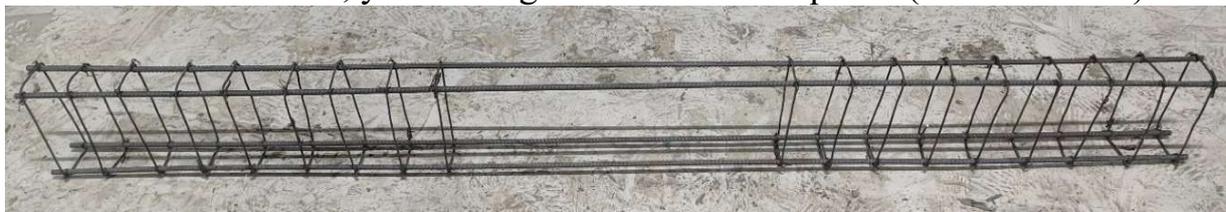
Beton sinflari B15, B20 va B30 bo'lgan og'ir betonlar uchun ularning siqilishga va cho'zilishga bo'lgan mustahkamligini aniqlash uchun tomonlar o'lchamlari 10 sm bo'lgan kub namunalar GOST10180-2012 bo'yicha tayyorlandi. Bunday namunalar betonning yoshi 7,14 va 28 bo'lgan kunlarda MIF-1000 va XSN300 gidravlik presslarida sinaldi.

Bundan tashqari namunalar tayyorlash jarayonida o'lchamlari 10x10x40sm bo'lgan qo'shimchasiz oddiy beton va bazaltfibrobeton prizma tayyorlanib, namunalar yoshi 28 kun bo'lgan siqilishga sinaldi.

Beton prizma namunasini siqilishga sinash natijasida uning quyidagi mexanik xususiyatlari bo'yicha ma'lumotlar olindi:

- prizma mustahkamligi;
- boshlang'ich elastiklik moduli;
- Puasson koeffitsienti;
- chegaraviy siqiluvchanlik (betonning siqilishdagi chegaraviy nisbiy deformatsiyasi).

O'tkazilgan tahlillar natijalari bo'yicha mahalliy hom ashyo materiallari asosidagi bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlari eksperimental tadqiqotlar o'tkazish bilan yetarli darajada o'rganilmaganligi ma'lum bo'ldi. Undan tashqari, bazaltfibrobetonli egiluvchi temirbeton elementlarning mustahkamligi, bikrligi va darzbardoshligi ham tizimli eksperimentlar yordamida yetarli darajada o'rganilmagan. Bazaltfibrobeton strukturasi o'ziga xosligini inobatga olinsa, bunday eksperimentlar yordamida egiluvchi temirbeton elementlarning kuchlanish-deformatsiya holati bo'yicha yangi natijalar kutish mumkin. Shu munosabat bilan ushbu eksperimental tadqiqotlarning masalalari va dasturi aniqlandi. Unga ko'ra, bazaltfibrobetonidan tayyorlangan egiluvchi temirbetonning qisqa muddatli yuklar ta'siridagi ishini o'rganish uchun to'g'ri to'rt burchakli kesim yuzasi 12x24 sm va uzunligi 240 sm bo'lgan to'sinlar tayyorlandi. Bu to'sinlar uch seriyadan iborat bo'lib, ularning egilgan zonasida diametri Ø10, Ø12, Ø14 mm bo'lgan sinfi A400 2 tadan armatura sterjenlari joylashtirildi. Siqilgan zonasida diametri Ø8 mm bo'lgan sinfi A240 ikkita sterjen joylashtirildi. Ko'ndalang armatura sifatida sinfi B-I diametri Ø5 mm lik armatura simlaridan foydalanildi. To'sinlarning o'rta qismida ko'ndalang armaturalar o'rnatilmadi, ya'ni sof egilish zonasi hosil qilindi (2 va 3 rasmlar).



2-rasm. Namuna to'sinlari armatura karkasining ko'rinishi.



3-rasm. Qoliplangan va qolipdan yechilgan to'sin namunalari-sinov modellari.

Namuna to'sinlar kuch beruvchi stendda egilishga sinaldi. Stend maxsus tayyorlangan bo'lib, u to'sinlarni ikkita yig'ilgan kuch orqali yuklab, o'rta qismini sof egilishga sinash imkonini berdi. Yuklash stendining umumiy ko'rinishlari 4 rasmda keltirilgan.



4-rasm. To'sinlarni sinash stendining umumiy ko'rinishi

To'sinlar namunalarini stendning sinash uchun mo'ljallangan 2 ta sharnirli tayanchlariga o'rnatildi. Sharnirlarning shartli ravishda biri qo'zg'almas, ikkinchisi qo'zg'aluvchan qilib tayyorlangan. Kuchlar orasidagi masofa 700 mm, tayanchlardan yukgacha bo'lgan masofalar esa 750 mm ni tashkil etdi. Tayanchdan to'sinlarning chetigacha bo'lgan masofalar 100 mm ni tashkil etdi. Yuk gidravlik domkrat vositasida bosqichma-bosqich berib borildi. Buning uchun taqsimlovchi traversalar qo'llanildi.

Dissertatsiyaning **“Bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlari tadqiqoti natijalari”** deb nomlangan uchinchi bobida bazaltfibrobetonning siqilishga va cho'zilishga bo'lgan mustahkamligi bazaltfibrobeton strukturasiining maksimal zichlashishi (uning mustahkamligiga ijobiy ta'siri bo'yicha) bazalt tolasining sarfi $0,8 \div 1,0\%$ ga teng bo'lgan miqdorda sodir bo'ladi. Bunda betondagi sement sarfi o'zgarmas; sement sarfining har bir miqdorida ($360, 425$ va 530 kg/m^3) mustahkamlikni oshishini kuzatish mumkin. Natijalardagi farq faqat bazaltfibrobeton mustahkamligini o'sish qiymatining turlicha bo'lishida kuzatildi. Bazalt tolasining sarfi $0,8 \div 1,0\%$ dan kam holatda uning miqdori sement

toshining mustahkamligini oshirish uchun yetarli emas, undan ko'p bo'lgan holatda esa ularning alohida-alohida bo'lib bir joyda to'planib qolishi bilan bog'liq, ya'ni notekis taqsimlanishi yuz beradi, oxir oqibat bazaltfibrobeton strukturasi bir xilligi buziladi va kuchlanishlar konsentratsiyasi sodir bo'lib, mikro va makrodarzarlar ancha avval paydo bo'ladi. Xuddi shu kabi, bazalt tolasining uzunligini beton mustahkamligiga ta'siri ham o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari bilan aniqlandi. Bunda bazalt tolaning uzunligini 10,15 va 20 mmga teng qilib olindi. Har bir seriya eksperimentlari uchun 6 tadan oddiy beton va bazaltfibrobeton namunalari tayyorlanib, ularning yoshi 28-35 kunga yetganda statik yuk ta'siriga GOST 10180 bo'yicha sinaldi. Eksperiment natijalariga ko'ra bazalt tolasining uzunligi 20 mm bo'lganda, beton mustahkamligining eng yuqori ko'rsatkichni ta'minladi, ya'ni uning uzunligi yirik to'ldiruvchining o'lchamlariga teng bo'lgan xolatda sodir bo'ldi. Bu natijaga ko'ra shuni tahmin qilish mumkin, bazalt tolasining uzunligi 20 mm dan kam bo'lsa, bazaltfibrobeton mustahkamligini o'sishi yetarli darajada sezilarsiz va aksincha. Bularni sababi, dispers tolasi uzunligining optimal qiymati bilan bog'liq deyish mumkin. Eksperimental tadqiqot natijalariga matematik statistika usullari bilan ishlov berildi va ularning natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

Bazaltfibrobeton va qo'shimchasiz og'ir beton namunalari mustahkamliklari

2-jadval

No	Beton tarkibi	Sement sarfi, kg/m ³	Beton turi	R _m - o'rtacha mustahkamlik, MPa	S _m - mus. o'rt. kvad. xatoligi	V-koef. variatsiya, %
1	1-Seriya	350	Qo'shimchasiz	25,2	1,62	6,32
			BFB (10 mm – 0,5%)	27,5	1,67	6,25
			BFB (10 mm – 1,0%)	27,9	1,64	6,83
			BFB (10 mm – 1,5%)	27,6	1,84	7,21
			BFB (15 mm – 0,5%)	27,9	0,74	3,87
			BFB (15 mm – 1,0%)	29,1	0,92	3,56
			BFB (15 mm – 1,5%)	28,5	0,80	3,21
			BFB (20 mm – 0,5%)	29,1	1,02	4,32
			BFB (20 mm – 1,0%)	30,6	0,47	2,85
2	2-Seriya	425	Qo'shimchasiz	31,4	2,03	6,24
			BFB (10 mm – 0,5%)	35,9	1,91	5,45
			BFB (10 mm – 1,0%)	33,8	1,72	5,37
			BFB (10 mm – 1,5%)	34,3	1,07	3,54
			BFB (15 mm – 0,5%)	34,9	0,78	2,88
			BFB (15 mm – 1,0%)	35,7	1,34	4,35
			BFB (15 mm – 1,5%)	31,5	1,15	4,91
			BFB (20 mm – 0,5%)	34,5	1,60	5,22
			BFB (20 mm – 1,0%)	37,4	0,68	2,54
3	3-Seriya	530	Qo'shimchasiz	37,5	1,55	4,74
			BFB (10 mm – 0,5%)	41,4	1,51	0,04
			BFB (10 mm – 1,0%)	42,0	0,74	2,63
			BFB (10 mm – 1,5%)	41,1	1,70	4,71
			BFB (15 mm – 0,5%)	39,9	1,60	4,36

		BFB (15 mm – 1,0%)	43,5	1,70	3,13
		BFB (15 mm – 1,5%)	43,0	1,09	3,89
		BFB (20 mm – 0,5%)	46,0	0,98	2,66
		BFB (20 mm – 1,0%)	46,5	1,19	3,85
		BFB (20 mm – 1,5%)	44,3	0,87	2,69

Izoh. BFB-bazaltfibrobeton

Asosiy omillar sifatida 1 m³ bazaltfibrobeton tarkibidagi sement sarfi, bazalt tola miqdori va uning uzunligi qabul qilindi. Uch omillik eksperiment rejasiga ko‘ra, chiziqli bog‘lanishni olish uchun Boks-Benkin reja matritsasi javob beradi. Unga ko‘ra x_1 – sement sarfi, x_2 – bazalt tola uzunligi va x_3 – bazalt tola sarfi eksperimentlarni rejalashtirish shartlari qilib belgilandi.

Ushbu eksperimentlarni rejalashtirish shartlariga ko‘ra, bazaltfibrobeton tarkibidagi sement sarfi yuqori boshqaruv darajasiga ega; bazalt tolasining uzunligi va sarfi ham bunday betonlarning mustahkamligini ta‘minlashda yuqori boshqaruv darajasiga ega hisoblanadi.

Bazaltfibrobeton mustahkamligini ifodalash uchun regressiya tenglamasining to‘liq ko‘rinishi $R_i = \bar{R}$ deb, quyidagicha yozildi:

$$R_i = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (1)$$

bu yerda: b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} – regressiya tenglamasining ozod a‘zolari va omillarning bir-biriga ta‘siri ko‘rinishidagi koeffitsentlari.

Eksperiment natijalarida keltirilgan boshlang‘ich parametrlar bo‘yicha formulalardan foydalanib regressiya tenglamasi koeffitsentlari aniqlandi: $b_0 = 35,56$, $b_1 = 7,217$, $b_2 = 1,289$, $b_3 = -0,028$, $b_{12} = 0,5$, $b_{13} = -0,008$, $b_{23} = 0,233$, $b_{123} = -0,225$.

Ushbu koeffitsentlar Styudent t-kriteriy yordamida aniqlandi; uning qiymati qabul qilingan tadqiqotlar sharoiti uchun $t = 2,06$ ga teng.

Matematik model sifatida bazaltfibrobetonning mustahkamligini aniqlash uchun regressiya tenglamasining oxirgi ko‘rinishini quyidagicha yozish mumkin:

$$R = 35,56 + 7,217 \cdot x_1 + 1,289 \cdot x_2 - 0,028 \cdot x_3 + 0,5 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,008 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,233 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,225 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (2)$$

Ushbu (2) tenglama eksperimental tadqiqotlar natijalarini 0,95 ishonchlilik ehtimoli bilan aniqlashni ta‘minlaydi, chunki hisobiy Fisher F- kriteriyasi $F_r=8,22$ ga teng va $F_m=9,55$ qiymatidan ko‘p emas. F- kriteriy qiymatida keltirilgan uslub bo‘yicha aniqlangan.

Qo‘shimchasiz oddiy beton va bazaltfibrobetonlarning siqilishga bo‘lgan mustahkamligi oltita namunani o‘rtacha qiymatiga statik ishlov berib topilgan bo‘lsa, cho‘zilishdagi mustahkamlik esa, uchta namuna natijalarining bir-biriga yaqin ikkita natijaning o‘rtacha qiymati bo‘yicha aniqlandi (3 jadval).

Qo‘shimchasiz og‘ir beton va bazaltfibrobeton namunalarning cho‘zilish mustahkamligi

3 jadval

No	Beton turi	Beton tarkibi	Namunalar yoshi, kun	Mustahkamlik, MPa
1	Qo‘shimchasiz oddiy beton	1-S	28	2,8
		2-S	28	3,2
		3-S	28	3,9
2	Bazaltfibrobeton	1-S	28	3,4
		2-S	28	3,8
		3-S	28	4,5

Ushbu tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, mahalliy xom ashyo materiallarini qo‘llab, og‘ir betonga bazalt tolalarini qo‘shish uning mustahkamligini oshirishi aniqlandi (4-jadval) va bu o‘z navbatida konstruksiyalarni ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilishga imkon yaratadi.

Bazalt tolasini beton tarkibiga qo‘shilishining samaradorligi

4 jadval

Bazalt tola		Betoning o‘rtacha mustahkamligi, R_{pp} , MPa	Qo‘shimchaning samaradorligi, ΔR_{28} , %
uzunligi, mm	miqdori, %		
S=360 kg/m ³		2,8	-
10	1,0	3,1	10,7
12	1,0	3,2	14,3
15	1,0	3,1	10,7
20	1,0	3,4	21,4
S=425 kg/m ³		3,2	-
10	1,0	3,7	15,6
12	1,0	3,7	15,6
15	1,0	3,8	18,7
20	1,0	3,5	9,3
S=530 kg/m ³		3,9	-
10	1,0	4,1	5,1
12	1,0	4,6	17,9
15	1,0	4,3	10,3
20	1,0	4,5	15,4
O‘rtacha texnik samaradorlik			≈14%

Bazaltfibrobeton mustahkamligiga superplastifikator qo‘shimchasining ta‘siri o‘rganish maqsadida LEVELCON FX6-SR va LEVELCON PF-300 kimyoviy qo‘shimchalaridan foydalanildi. Superplastifikatorlar miqdori sement massasiga nisbatan 1% etib belgilandi, chunki bu miqdor ko‘p tadqiqotlar natijalari bo‘yicha aniqlangan va u qo‘shimchani ishlab chiqaruvchi tomonidan belgilangan miqdorga (0,6-1,5%) to‘g‘ri keladi.

Superplastifikatorlar qo‘shilgan betonlardan tayyorlangan beton kub namunalarning siqilishiga va cho‘zilishga bo‘lgan mustahkamliklarini aniqlash uchun ular 7 va 28 kunlarda gidravlik presslarda sinaldi.

Ushbu sinovlar bo‘yicha olingan natijalar 5-jadvalda mos ravishda LEVELCON FX6-SR va LEVELCON PF-300 qo‘shilgan betonlar uchun keltirilgan.

Sinash natijalari

5-jadval

Beton turi	Qo'shimcha	Namunalar yoshi, kun	Mustahkamlik, MPa
Og'ir beton	FX6	7	31,6
		28	35,3
		cho'zilish	4,5
	PF300	7	33,3
		28	39,1
		cho'zilish	4,6

Bazalt tolasini sement massasiga nisbatan 1% miqdorda va uzunligi 20 mm dan qo'llanildi. Tayyorlangan namunalar qo'shimchasiz va superplastifikator qo'shimchali betonlar kabi 7 va 28 kunlik yoshdagi mustahkamliklari tekshirildi. Olingan natijalar 6 va 7 jadvalda keltirilgan.

Sinash natijalari

6-jadval

Beton turi	Qo'shimcha	Namunalar yoshi, kun	Mustahkamlik, MPa
Og'ir beton	Bazalt tola	7	30,5
		28	37,0
		cho'zilish	3,8

Sinash natijalari

7-jadval

Beton turi	Qo'shimcha	Namunalar yoshi, kun	Mustahkamlik, MPa
Og'ir beton	FX6+Bazalt	7	40,1
		28	50,5
		cho'zilish	4,9
	PF300+ Bazalt	7	41,4
		28	46,0
		cho'zilish	4,7

Bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarining o'ziga xosligida quyidagi ko'rsatkichlarda aniqlandi:

- betonlarning prizma mustahkamligi;
- betonning boshlang'ich elastiklik moduli;
- Puasson koeffitseinti;
- prizmaning mustahkamligi koeffitsienti;
- betonning siqilishdagi chegaraviy deformatsiya qiymati.

Har bir namuna uchun yuklash qiymati buzilish qiymatining 30%ga teng bo'lganda mos ravishda beton boshlang'ich elastik moduli (E_b) va Puasson koeffitsienti (μ) quyidagi formulalardan aniqlandi:

$$E_{\sigma} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} \quad (3)$$

$$\mu = \frac{\varepsilon_{2u}}{\varepsilon_1} \quad (4)$$

bu yerda: $\sigma_1 = \frac{P_1}{F}$ buzilish yukining 30% miqdoridagi kuchlanish qiymati;

P_1 - tashqi yukning o'sishi;

F- namunaning haqiqiy yuza o'lchami;

ε_1 va ε_2 - bo‘ylama va ko‘ndalang deformatsiyalarning $P_1=0.3 \cdot P_p$ dagi mos ravishda qiymatlari.

ε_{1u} va ε_{2u} larning qiymatlari mos ravishda quyidagi formulalardan aniqlangan:

$$\varepsilon_{1u} = \varepsilon_1 - \sum \varepsilon_{1n} \quad (5)$$

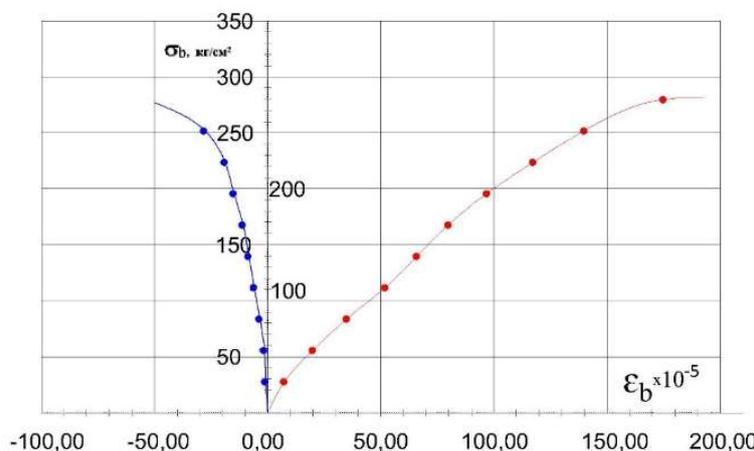
$$\varepsilon_{2u} = \varepsilon_2 - \sum \varepsilon_{2n} \quad (6)$$

bu yerda: ε_1 va ε_2 - bo‘ylama va ko‘ndalang to‘liq nisbiy deformatsiyalarning oshishlari va bosqichni yuklash oxirida olingan qiymatlari;

$\sum \varepsilon_{1n}$ va $\sum \varepsilon_{2n}$ - betonning tezoquvchanligidan bo‘ylama va ko‘ndalang deformatsiyalarning $P_1=0.3 \cdot P_p$ gacha bo‘lgan yuklashni o‘zgartirmagan vaqtdagi qiymatlari yig‘indisi.

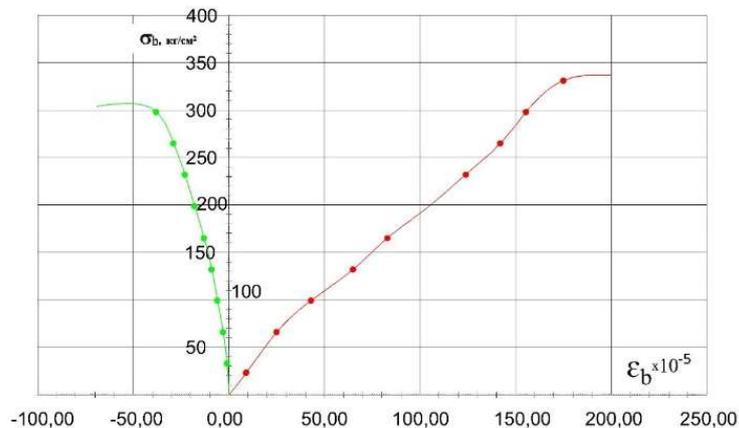
ε_{1n} va ε_{2n} - qiymatlari o‘rtacha ko‘rsatkich bo‘yicha aniqlandi.

Aniqlangan sinov natijalaridan foydalanib bazaltfibrobeton va oddiy beton uchun siqilishdagi “ $\sigma - \varepsilon$ ” diagrammalari qurildi. Ular mos ravishda 5 va 6 rasmlarda keltiriladi.



5-rasm. Qo‘shimchasiz oddiy beton namunalari uchun siqilishdagi “kuchlanish-deformatsiya” ($\sigma - \varepsilon$) diagrammasi

O‘tkazilgan sinov natijalari bo‘yicha “ $\sigma - \varepsilon$ ” diagrammasini qurish uchun kerak bo‘ladigan bo‘ylama va ko‘ndalang deformatsiyalarning chegaraviy qiymatlarini aniqlash uchun, ularning oxirgi ko‘rsatkichlari $\frac{\sigma_b}{R_b} = 1,0$ ga teng bo‘lguncha qadar davom ettirildi. Betonlarning prizma mustahkamligi (R_b) qayd qilingan buzuvchi yukni namunaning kesim yuzasiga bo‘lish orqali aniqlandi.



6-rasm. Bazaltfibrobeton namunalari uchun siqilishdagi “kuchlanish-deformatsiya” ($\sigma - \varepsilon$) diagrammasi

Bazaltfibrobeton va oddiy betondan tayyorlangan prizma namunasidan tashqari, ularni tayyorlash vaqtida bir beton qorishmasidan kub namunalar ham quyilgan. Ularni beton prizmalarni sinashdan oldin betonning kub mustahkamligini aniqlash uchun gidravlik presslarda sinaldi; olingan kub mustahkamligining o'rtacha qiymatini 80% prizma mustahkamligiga teng deb, ularni sinash uchun har bosqichdagi yuklash darajasi qilib o'rnatildi. Ushbu sinov natijalari bo'yicha prizma mustahkamligining koeffitsienti ($K_{pp} = \frac{R_b}{R}$) hisoblandi. Bu hisoblarga ko'ra, quyidagi natijalar olindi:

- bazaltfibrobeton uchun K_{pp} ning qiymati $0,84 \div 0,88$ oralig'ida o'zgarishi o'rnatildi;

- oddiy beton uchun K_{pp} ning qiymati $0,79 \div 0,80$ oralig'ida o'zgarishi o'rnatildi. Olingan natijalarni solishtirish orqali ushbu xulosani keltirish mumkin, bazaltfibrobeton uchun K_{pp} qiymati qo'shimchasiz oddiy betonning ana shunday ko'rsatkichidan 10% gacha ortiq. Bunga betonlar tarkiblari bir xil, farqi faqat dispers armatura sifatida bazalt tolalari qo'llanilganligida, deb qarash mumkin. 8 va 9 jadvallarda betonlarning elastiklik modullari bo'yicha olingan qiymatlari tahlili va natijalari keltirilgan.

Bazaltfibrobetonlar uchun tajribaviy va xisobiy elastiklik modullari qiymatlarini solishtirish natijalari

8-jadval

No t.r.	Prizma mustahkamligi R_b , MPa	Elastiklik moduli tajribaviy E_b^{on} , MPa	Elastiklik moduli hisobiy E_b^p , MPa	E_b^p / E_b^{on}
1	34,3	32400	33480	1,03
2	33,1	33900	33040	0,97
3	32,6	32800	32850	1,0
4	33,7	33700	33260	0,98
5	34,0	32500	33370	1,03
6	32,1	33200	32650	0,98
7	46,7	46000	37100	0,81
8	48,2	45500	37460	0,82
9	50,1	46300	37880	0,82
10	42,5	45200	36040	0,80
11	47,8	46600	37370	0,80
12	43,6	46400	36330	0,78
O'rtacha nisbat				0,90

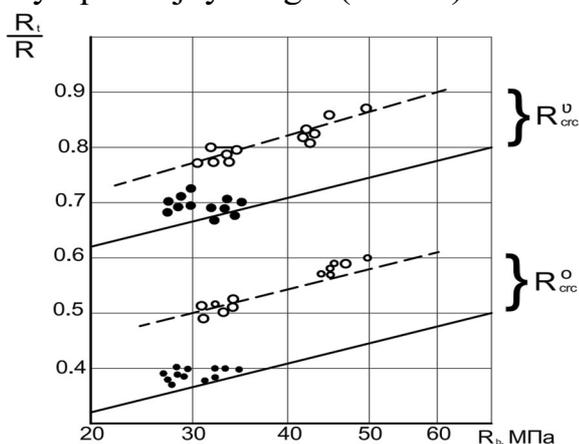
Bazaltfibrobetonning boshlang'ich elastik modullarini qiymatlarini solishtirish.

9-jadval

Beton sinfi	Betonlarning elastiklik modullari ($E_b * 10^{-3}$) MPa		E_b^2 / E_b^1
	Oddiy beton QMQ 2.01.03-21 bo'yicha (E_b^1)	Bazaltfibrobeton eksperiment bo'yicha (E_b^2)	
B25	30,0	-	-
B30	32,5	33,1	1,02
B35	34,5	36,2	1,05
B40	36,0	45,2	1,26
B45	37,5	46,3	1,23
O'rtacha qiymat			1,14

Beton prizmani yuklashdan ma’lum bosqichda hajm kichrayishi kuzatildi. Ushbu kichrayishning boshlang‘ich nuqtasi R_{crc}^o ga va ko‘ndalang deformatsiyasi differensial koeffitsienti $\Delta v = 0,5$ ga teng nuqta R_{crc}^v parametr deb qabul qilingan (prof. O. Ya. Berg usuli bo’yicha).

Bazaltfibrabeton uchun ushbu dissertatsiya ishida olingan natijalar og‘ir beton uchun olingan statistik bog‘liqliklarga yaqin, ammo bazaltfibrobeton uchun eksperiment natijalari ancha yuqorida joylashgan (7 rasm).



7-rasm. Bazaltfibrobetonda darz xosil bo‘lish parametrlarining prizma mustahkamligiga bog‘liqligi.

-----bazaltfibrobeton uchun taklif etilgan bog‘liqlik;

_____ - og‘ir beton uchun berilgan bog‘liqlik.

7 rasmdagi bog‘lanishlardan kelib chiqadigan muhim xususiyat, bu R_{crc}^o/R_b va R_{crc}^v/R_b nisbatlar va beton prizma mustahkamliklari orasida kuzatilayotgan zich aloqa mavjudligi hamda uning xarakteri og‘ir betonlar uchun o‘rnatilgan approksimatsion ifodaga xos. Ushbu bog‘liqlikni saqlagan holda bazaltfibrobeton uchun R_{crc}^o va R_{crc}^v parametrik nuqtalarni baholash uchun quyidagi ifodalarni taklif qilish mumkin:

$$\frac{R_{crc}^o}{R_b} = 0,35 \cdot \lg \cdot R_b - 0,38 \quad (7)$$

$$\frac{R_{crc}^v}{R_b} = 0,35 \cdot \lg \cdot R_b - 0,08 \quad (8)$$

Bazaltfibrobetonlar uchun darz xosil bo‘lish parametrlari bo’yicha olingan natijalarga statistik ishlov ko‘rsatkichlari 10 jadvalda keltirilgan.

10 jadval

№ t.r.	Betonning darz xosil bo‘lish parametrlari nomi	Statistik taqsimot parametrlari qiymatlari		
		η	σ	$\delta, \%$
1.	Og‘ir beton uchun pastki darz xosil bo‘lish parametrlari (R_{crc}^o)	0,95	0,024	2,6
2.	Og‘ir beton uchun yuqori darz xosil bo‘lish parametrlari (R_{crc}^v)	0,97	0,013	1,3
3.	Bazaltfibrobeton uchun pastki darz xosil bo‘lish parametrlari (R_{crc}^o)	0,97	0,013	1,3
4.	Bazaltfibrobeton uchun yuqori darz xosil bo‘lish parametrlari (R_{crc}^v)	0,96	0,011	1,2

Ilova: η – tajriba va xisobiy natijalar nisbatining o‘rtacha qiymati;

σ – bu o‘rtacha nisbatning o‘rtacha kvadratik og‘ishi ;

δ –variatsiya koeffitsienti.

Ekspiriment natijalariga statistik ishlov berish shuni tasdiqlaydi: taklif etilayotgan ifodalardan foydalanish bazaltfibrobeton uchun R_{crc}° va R_{crc}^V parametrlari bo'yicha hisobiy va tajriba qiymatlarining o'zaro mosligini tasdiqlaydi. Unga ko'ra tajriba va hisobiy natijalar nisbatining o'rtacha qiymati 0,95-0,97 ga va variatsiya koeffitsienti 1,2-2,6% ga teng.

Disseratatsiyaning **“Egiluvchi bazaltfibrotemirbeton elementlarni qisqa muddatli yuklar ta'siriga qarshiligini tadqiqoti natijalari”** deb nomlanuvchi to'rtinchi bobi bazaltfibrotemirbeton to'sinlarning mustahkamliklari, darzbardoshliklari va bikrikklarining eksperimental tadqiqot natijalari tahlili va ularning texnik-iqtisodiy samadorligiga bag'ishlangan.

Tajriba to'sinlari qisqa vaqtli statik ta'sir etuvchi yuklar yordamida buzilgunga qadar sinaldi; sinash uslublari oddiy betondan va bazaltfibrobetondan tayyorlangan to'sinlar uchun bir xil qabul qilindi. To'sinlarni sinashdagi kuchlanish-deformatsiyalanish holatining bosqichma-bosqich o'zgarishlari har ikkala konstruktiv yechimlarga ega bo'lgan to'sinlarda umumiy bir xillikda davom etdi.

Sinov natijalariga ko'ra, bazaltfibrotemirbeton to'sinlarining buzilish xarakteri cho'ziluvchan bo'lib, normal kesim yuza bo'yicha sodir bo'ldi. Bunda armaturalash foizlari kam bo'lgan to'sinlar birinchi ($\xi < \xi_R$), qolgan to'sinlar ikkinchi holat bo'yicha buzildi. Ularning ko'rinishlari 8 va 9 rasmlarda keltirilgan.



8-rasm. Qo'shimchasiz oddiy temirbeton to'sinlarning buzilishi



9-rasm. Bazaltfibrotemirbeton to‘sin namunalarining buzilishi

11 jadvalda tajriba to‘sinlarining mustahkamligi bo‘yicha olingan natijalar keltirilgan.

To‘sinlar mustahkamligini o‘zgarishi

11-jadval

To‘sinlar shifri	Beton mustahkamligi, MPa	Armatura sinfi	Chegaraviy hisobiy moment, M^x , kN·m	Tajriba bo‘yicha chegaraviy moment, M^T , kN·m	M^x/M^T
OBTB-1-1	33,6	2Ø10A400	10,2	8,1	0,79
OBTB -1-2	36,4	2Ø12A400	13,9	11,7	0,84
OBTB -1-3	37,3	2Ø14A400	17,6	13,6	0,77
OBTB -2-1	33,6	2Ø10A400	10,6	9,23	0,87
OBTB -2-2	37,8	2Ø12A400	14,8	12,2	0,82
OBTB -2-3	42,5	2Ø14A400	19,2	14,7	0,77
BFTB-1-1	39,7	2Ø10A400	10,2	9,2	0,91
BFTB-1-2	38,2	2Ø12A400	13,9	13,6	0,98
BFTB-1-3	41,8	2Ø14A400	17,6	15,8	0,9
BFTB-2-1	42,5	2Ø10A400	10,6	10,3	0,97
BFTB-2-2	43,4	2Ø12A400	14,8	14,2	0,96
BFTB-2-3	45,1	2Ø14A400	19,2	17,1	0,89

Izohlar: 1. OBTB - oddiy betonli temirbeton to‘sin;

BFTB- bazaltfibrotemirbeton to‘sin.

2. To‘sin shifridagi birinchi raqam to‘sinlar uchun ishlatilgan betonning seriyasi; Ikkinchi raqamlar armaturalashning foiziga tegishli, ya’ni 1-0,545; 2- 0,785 va 3- 1,07%

Tajriba to'sinlarini sinashda birinchi darzlarni hosil bo'lish momentlari ko'z bilan kuzatish va 24 karra kattalashtirib ko'rsatadigan МПБ-2 mikroskop orqali aniqlandi. Darz hosil bo'lgandan so'ng to'sinlarning siqilgan va cho'zilgan zonalarini betoni deformatsiyalarini tahlil qilish orqali hamda tajriba namunalarini salqiligini (egilishini) o'zgarishini tahlil qilish orqali qayta aniqlandi va asos qilib olindi. To'sinlarning toza egilish zonalaridagi dastlabki darzlar hosil bo'lishi ularning yuklashning har xil nisbiy darajalarida beton turi va armaturalash foiziga qarab hosil bo'lishi o'zgarib bordi.

Darz hosil bo'lishi momentlarini solishtirish natijalari

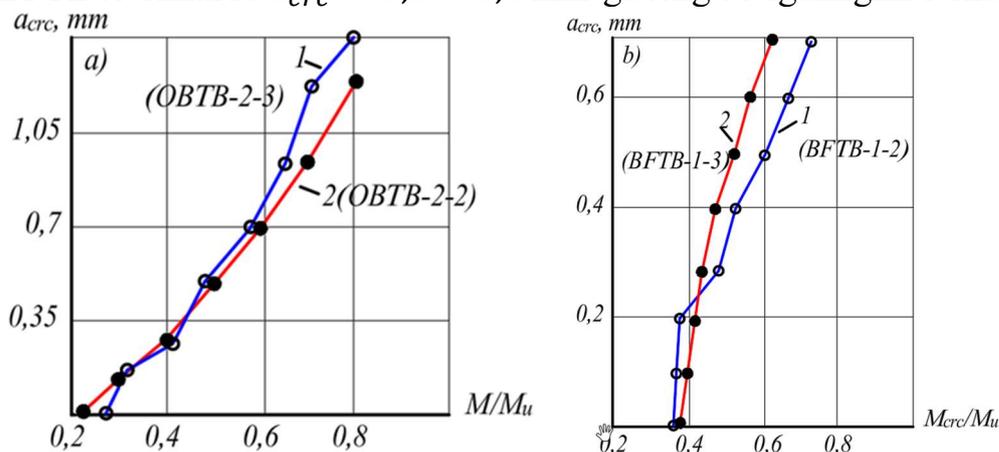
12-jadval

To'sinlar shifri	Armaturalash koefitsienti, %	Darz hosil bo'lishi momenti (M_{crc}^{op})	Nisbiy o'zgarish ($M_{crc}^{op,\delta} / M_{crc}^{op,o}$)
OBTB-1-1	0,545	2,4	-
OBTB -1-2	0,75	2,6	-
OBTB -1-3	1,07	2,88	-
OBTB -2-1	0,545	2,3	-
OBTB -2-2	0,75	2,7	-
OBTB -2-3	1,07	3,03	-
BFTB-1-1	0,545	3,5	1,46
BFTB-1-2	0,75	4,8	1,85
BFTB-1-3	1,07	5,5	1,91
BFTB-2-1	0,545	3,7	1,61
BFTB-2-2	0,75	3,4	1,26
BFTB-2-3	1,07	4,1	1,35
O'rtacha qiymat	-	-	1,57

Egiluvchi temirbeton elementlaridagi darzlarni ochilish kengligini amaldagi me'yoriy xujjatlar bo'yicha xisoblash turli empirik bog'lanish va koefitsientlarga asoslangan holda betonning xossalarini boshlang'ich parametr qilib kiritish bilan bajariladi. Bu usulga asoslangan holda aytish mumkin, bazaltfibrobetondan tayyorlangan temirbeton to'sinlarda nafaqat darz paydo bo'lish momenti, balki darzning ochilish kengligi o'ziga xos tarzda kechishini kutish mumkin.

Tajriba natijalariga ko'ra, egiluvchi temirbeton elementlarga yuklashdan hosil bo'lgan eguvchi momentning $0,6 \div 0,65 \cdot M_u$ darajasi ta'siridan:

- BOTB to'sinlarda $a_{crc} = 0,8 \div 0,9$ mm;
- BFTB to'sinlarda $a_{crc} = 0,5 \div 0,6$ mm ga teng bo'lganligini o'rnatish mumkin.



10-rasm. To'sinlarda darzlarning ochilish kengligini yuklash bosqichiga bog'liq rivojlanishi.

a – oddiy betonli temirbetonli to‘sinlar;

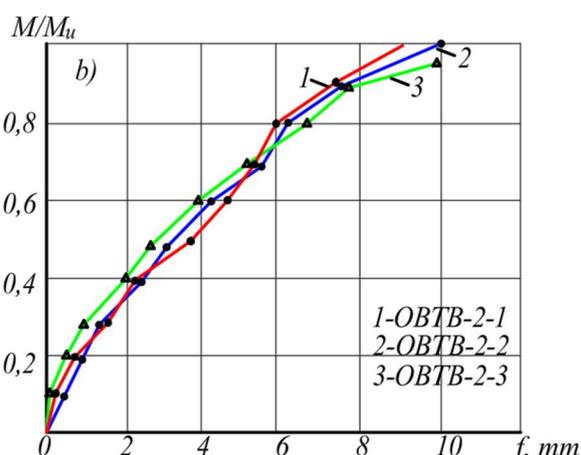
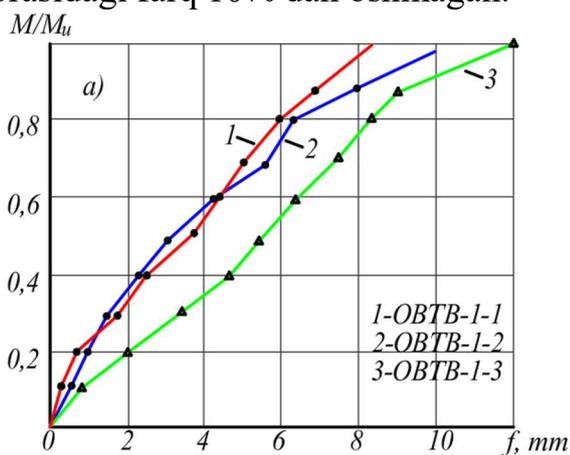
b – bazaltfibrotemirbeton to‘sinlar.

Eksperimental tadqiqotlar vaqtida tajriba to‘sinlarining salqiliklari (egilishlari) har bir yuklash bosqichida progibomerlar va indikatorlar yordamida o‘lchab borildi.

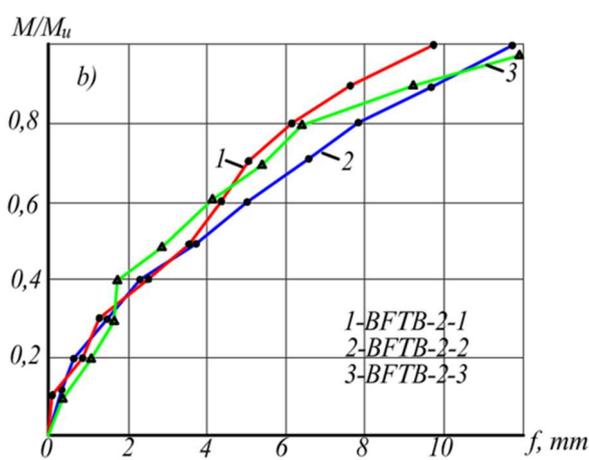
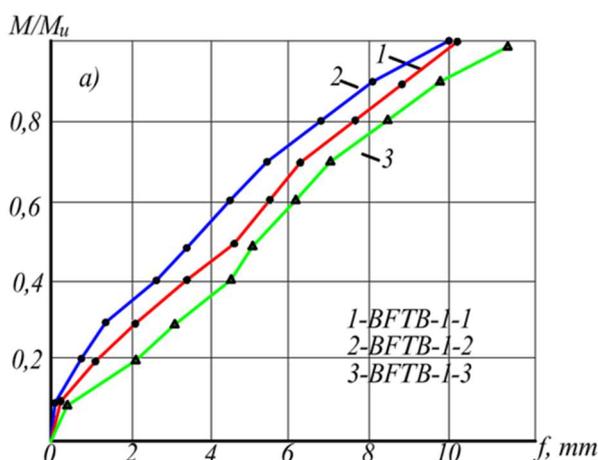
OBTB va BFTB to‘sinlarda qayd qilingan salqiliklarning nisbiy yuklashlar (M/M_u) qiymatidan o‘zgarishlari mos ravishda 11 va 12 rasmda keltirilgan, bunda hosil bo‘lgan o‘zgarishlar grafiklar 1 seriya va 2 seriya namunalari uchun alohida ko‘rsatilgan.

Grafikning rivojlanishiga qarab aytish mumkin, xar tur to‘sinlari uchun salqiliklarning o‘shishi yuklash $0,8 \div 0,85 \cdot M_U$ ga qadar to‘g‘ri chiziqli o‘zgarishga yaqin xarakter bo‘yicha davom etgan.

OBTB to‘sinlarida buzilishga yaqin salqilikning tajriba qiymatlari 8-12 mm ga teng bo‘lgan; xuddi shunday ko‘rsatkich BFTB to‘sinlari uchun 10-12 mm ga teng bo‘lgan, ya’ni ularning qiymatlari bir-biriga juda yaqin. Ammo ekspluatatsiya darajasidagi yuklashlarda 2 seriya to‘sinlarida salqilikning qiymatlari 4-5 mm dan oshmagan, chunki bu to‘sinlar betonining mustahkamligi yuqori bo‘lganligi sababli, uning bikrligi ortgan. Bunday yuklar ta’siridan 1 va 2 seriya to‘sinlari salqiliklari orasidagi farq 10% dan oshmagan.



11-rasm. BOTB to‘sinlarning 1 (a) va 2 (b) seriyalarida yuklashning ortishiga bog‘liq salqilikning o‘zgarish grafiklari



12-rasm. BFTB to‘sinlarning 1 (a) va 2 (b) seriyalarida yuklashning ortishiga bog‘liq salqilikning o‘zgarish grafiklari

To'sinlarning salqiliklarini solishtirish natijalari

13-jadval

To'sinlar shifri	Beton xossalari		Armatu- ralash foizi,%	$M_u = 0,6 \cdot M^{max}$ dagi		$M_u = M^{max}$ dagi	
	R, MPa	$E_b \times 10^3$		salqilik, f, mm	og'ish, f/[f]	salqilik, f, mm	og'ish, f/[f]
OBTB-1-1	31,4 (27,2)	3,25	0,545	4,1	0,37	8,2	0,37
OBTB -1-2			0,785	4,5	0,41	9,8	0,44
OBTB -1-3			1,07	6,4	0,58	11,8	0,54
OBTB -2-1	37,5 (31,7)	3,56	0,545	4,8	0,43	9,1	0,41
OBTB -2-2			0,785	4,3	0,39	10,2	0,46
OBTB -2-3			1,07	3,8	0,345	10,8	0,49
BFTB-1-1	37,4 (33,3)	3,34	0,545	5,4	0,49	10,4	0,47
BFTB-1-2			0,785	4,6	0,42	9,8	0,45
BFTB-1-3			1,07	6,2	0,56	11,4	0,52
BFTB-2-1	46,5 (43,5)	4.6	0,545	4,4	0,4	9,6	0,44
BFTB-2-2			0,785	4,8	0,44	10,8	0,49
BFTB-2-3			1,07	4,2	0,38	11,0	0,5

Izoh: $M_u = 0,6 \cdot M^{max}$ bo'lganda chegaralangan salqilik $[f, mm] = \frac{L}{200} = 11,0 mm$;

$M_u = M^{max}$ bo'lganda chegaralangan salqilik $[f, mm] = \frac{L}{100} = 22,0 mm$ qabul qilingan

13 jadvalda sinovlar natijalari bo'yicha har ikkala tur to'sinlardagi salqiliklar qiymatlari o'zaro solishtirilgan. Solishtirish natijalariga ko'ra, yuklashning xar ikkala qiymatlarida to'sin salqiliklari chegaralangan salqiliklardan ancha kam, ya'ni ularning qiymati foiz xisobida 40-60% dan oshmagan. Bunga betonning xossalari va to'sinlarni armaturalash foizlarining ta'sirlari sabab bo'lgan. Betonlarning elastiklik modullari qiymatlarini farqi ta'sirini alohida ko'rsatish mumkin.

Dissertatsiyaning yakuniy qismida tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilishning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari tahlili keltirilgan.

Dissertatsiya eksperimental tadqiqotlari natijalari asosida "Kompozit polimer armaturali yahlit bazaltfibrobeton pollar va gidroizolyatsion qoplamalar o'rnatish bo'yicha texnologik reglament" ishlab chiqildi va u "BASALT HOLDING" MCHJ bilan qurilishda qo'llash uchun kelishildi. Ushbu korxonaning o'zida bazalt tolalari hamda bazalt kompozit polimer armaturasi ishlab chiqariladi, ya'ni ishlab chiqaruvchi va foydalanadigan korxonalar bir tashkilot.

Texnologik reglamentning 2 bo'limida "Bazaltfibrobetonli pollar va gidroizolyatsion qoplamalarni loyihalash" va ularning konstruktiv yechimlari berilgan. Ushbu xujjatning ilovasida 1 m³ ga ketadigan materiallar sarfi keltirilgan. Unga ko'ra bazaltfibrobeton uchun sement miqdorining sarfi oddiy qo'shimchasiz og'ir betonlardagi sement sarfidan 50-75 kg/m³ ga kam qilib, betonlar mustahkamlik sinflari bir-birlariga mos ravishda tanlangan. Buning natijasida olingan iqtisodiy samarani hisobi quyida keltiriladi.

Agar 1 m³ beton pol qoplama uchun 35 ming so'm iqtisod qilinsa, maydoni 40mx60mx0,1m=240m³ bo'lgan hajm uchun 8 400 000 so'm xarajatlar kamayishini ta'minlash mumkin bo'ladi.

XULOSALAR

Ushbu dissertatsiya bo'yicha olingan eksperimental-nazariy tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosalarni shakllantirish mumkin:

1. Mahalliy xom ashyo materiallari asosidagi bazaltfibrobeton tayyorlashning yangi texnologiyasi taklif etilgan, uning optimal tarkibi eksperimentlarni matematik rejalashtirish usullaridan foydalanib o'rnatildi. Optimal tarkibli bazaltfibrobetonlarning sement sarflarining va superplastifikator ta'siridan mustahkamligining o'zgarishlari dastlabki tajribalar yordamida tadqiqot qilindi.
2. Eksperiment natijalari va ularning tahlili bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlari bir xil sinfga ega bo'lgan qo'shimchasiz og'ir betonlarning mos xossalardan yuqoriligini ko'rsatdi, ya'ni:
 - siqililishga (R_b) va cho'zilishga bo'lgan mustahkamliklari (R_{bt}) mos ravishda o'rtacha 15 va 25% ga ko'p;
 - boshlang'ich elastiklik moduli (E_b) va Puasson koeffitsienti (μ) 15-20% va 30% gacha ortgan;
 - siqilishdagi chegaraviy deformatsiyalari (ε_{cu}) o'rtacha 10% ga ko'p;
3. Bazaltfibrobetonning siqilishdagi darz hosil bo'lishi parametrlari (R_{crc}^o va R_{crc}^v) qisqa muddatli yuklar ta'sirida og'ir betonga tegishli ana shunday ko'rsatkichlardan o'rtacha 10% ko'p bo'lib, uning asosiy sababi bazalt tolalarini beton tarkibiga kiritishning ijobiy ta'siri bo'lib, kontakt zonalarining mustahkam shakllanishi va yirik to'ldiruvchilarning tashqi kuchlar ta'sirini o'ziga ko'proq qabul qilishidir.
4. Bazaltfibrobetonning mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarini o'ziga xosliklarini konstruksiyalarni hisoblashda inobatga olish uchun, ularning me'yoriy qiymatlarini belgilash bo'yicha takliflar kiritildi. Bu takliflar tizimli o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalariga asoslangan.
5. Yuklashning qisqa muddatli ta'siridan bazaltfibrotemirbeton egiluvchi elementlarining mustahkamligi, darzbardoshligi va deformatsiyalanishi tadqiqi bo'yicha yangi natijalar olingan; bunda bazaltfibrobeton mustahkamligi va to'sinlarni armaturalash foizlari o'zgaruvchan omillar sifatida ko'rildi. Olingan natijalar tahlili temirbetonning qarshiligi nazariyasi bo'yicha keltirilgan.
6. Bazaltfibrotemirbeton to'sinlarda oddiy betonli temirbeton to'sinlarga nisbatan chegaraviy eguvchi (M) va darz xosil bo'lishi momenti (M_{crc}) 15-20% ga ko'p, darz ochilish kengligi (a_{crc}) 5-10% ga va salqiligi (f) 15% ga kamligi o'rnatildi.
7. Bazaltfibrobetonlarda mustahkamlik va deformatsion xususiyatlarining afzalliklari darzbardoshligini yuqori ekanligiga asoslangan holda hamda bazaltfibrotemirbeton to'sinlarida tajriba ko'rsatkichlarini yuqoriligi tufayli ularni amaliy qo'llashni kengaytirish maqsadga muvofiq deb hisoblandi.
8. Bazaltfibrotemirbeton egiluvchi elementlarni hisoblashda chegaraviy holatlar usuli bo'yicha amaldagi me'yoriy xujjatlardan foydalanish tavsiya etiladi,

bunda bazaltfibrobeton xususiyatlari va elementlarning kuchlanish-deformatsiyalanish holatlarini inobatga olish kerak.

9. Bazaltfibrobeton va uning tayyorlash texnologiyasini amaliyotga joriy etish yahlit beton pollar qoplamasi va gidroizolyatsion qoplamalarni o'rnatish uchun ishlab chiqaruvchi korxonaga "BASALT HOLDING" MChJ bilan kelishilgan texnologik reglament ishlab chiqildi. Bazaltfibrobetonni bunday konstruksiyalarda qo'llashdan olinadigan samara sement miqdori bo'yicha $50-75 \text{ kg/m}^3$ va armatura sarfiga ko'ra 3-5% tashkil etishi dastlabki hisoblar bo'yicha aniqlandi.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ЭРГАШОВ ЖАСУРБЕК ДИЛМУРОДОВИЧ

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОНА, ПРИМЕНЯЕМОГО В
ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

05.09.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание учёной степени доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

Ташкент – 2025

Тема диссертации на соискание учёной степени доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2024.3.PhD/T4964.

Диссертация выполнена в Ташкентском архитектурно-строительном университете.

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

Руководитель:

Акрамов Хуснитдин Ахрарович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Сиддиқов Икром Иминжанович
доктор технических наук., профессор

Ювмитов Анвар Сайфуллаевич
доктор технических наук., с.н.с.

Ведущая организация:

АО “Узогирсаноатлойиха”

Защита диссертации состоится «25» ноября 2025 г. в 10:00 часов на заседании Научного совета DSc.26/30.12.2019.T.11.01 при Ташкентском государственном архитектурно-строительном университете (Адрес: 100011, г. Ташкент, Юнус-абадский район, ул. Янгишахар, дом 9. Корпус 4, 5-й этаж. Тел/факс (55) 508-50-14, 508-03-12 e-mail: devon@taqu.edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского архитектурно-строительного университета (зарегистрированным за №175). Адрес: 100084, г.Ташкент, Юнус-абадский район, ул. Янгишахар, дом 9-а. Тел.: (+99890) 372-71-94; факс: (+99871) 234-15-11, e-mail: taqi_atm@edu.uz. факс: (99871) 241-80-00, e-mail: taqi_atm@edu.uz.

Автореферат диссертации разослан «11» ноября 2025 года.

(реестр протокола рассылки № 58/2025 от «06» октября 2025 года).



А.И. Адильходжаев
Заместитель председателя Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

И.И. Сиддиқов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

Б. Асқаров
Председатель Научного семинара при Научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Повышение эффективности строительной отрасли в мире связано с развитием производства. Для этого рекомендуется внедрять современные технологии, снижать трудозатраты, экономить материальные и энергетические ресурсы, использовать новые материалы. Одним из таких направлений являются научные исследования, проводимые в рамках широкого применения дисперсно-армированного бетона, которые в настоящее время считаются актуальными, потому что находят применение в различных отраслях строительной индустрии.

Дисперсно-армированный бетон считается перспективным строительным материалом среди конструкционных материалов, поскольку в настоящее время он широко применяется в различных отраслях промышленности. Дисперсное армирование осуществляется волокнами, равномерно распределенными по всему объему бетонной матрицы.

В настоящее время в нашей республике значительно возрастает интерес к использованию различных волокон в качестве дисперсной арматуры. Одна из основных причин этого заключается в том, что физико-механические свойства таких бетонов достаточно высоки, удовлетворяя требованиям современного строительства, а их практическое применение является актуальным и необходимым.

Использование фибры в качестве армирующего материала для повышения недостаточной прочности цементных бетонов на растяжение показало, что имеются возможности создания новых типов бетонов. Результаты исследований дисперсно-армированных бетонов и опыт их применения показали, что в результате можно достичь положительных показателей.

Свойства фиброволокон определяют свойства бетонов (фибробетонов) на их основе и определяют области их применения. Наиболее распространенными среди фиброволокон являются стальные, стеклянные, полипропиленовые и базальтовые. Для их использования по назначению и обеспечения эффективности необходимо найти ответы на многие вопросы. Одним из основных является определение свойств фибробетона, типа фибры, ее оптимального количества в составе бетона и специфических свойств фибробетона. При решении этих вопросов актуальной задачей является их изучение с использованием новых экспериментальных и теоретических исследований применяемых на местных материалах. Применение их результатов на практике, безусловно, будет способствовать развитию строительной отрасли.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Исследования выполнены в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан по теме II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Многими зарубежными и отечественными учеными были проведены научные работы по специфическим

характеристикам фибробетонов и дисперсно-армированных бетонов. Среди них за рубежом Айвазян Е.С., Некрасов В.П., Каприелов С.С., Перфилов В.А., Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Рабинович Ф.Н., Степанова В.Ф., Корнеева И.Г., Кудяков К.Л., Беддан М., Абдулхади М., Алексей С., Брик В., Радж С., Абу Махади М., Кулдашев К.Л.

Труды Касимова Э.К., Аскарлова Б.А., Акрамова Х.А., Юсупова Р.Р., Адылходжаева А.И., Юсуфходжаева С.А., Самигова Н.А., Ходжаева С.А., Комилова Х.Х., Усмонова В.Ф., Раззакова С.Ж., Ювмитова А.С., Бердиева О.Б., Мухаммадиева Н.Р., Мартазаева А.Ш. и других ученых нашей республики также посвящены научно-экспериментальным исследованиям.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ образовательного учреждения.

Настоящее исследование направлено на повышение эффективности бетонов и железобетонов на их основе армированных базальтовыми волокнами, и тесно связано с исследованиями, проводимыми по инновационному проекту № ИЛ-22209824 «Создание технологии производства фибробетона на основе базальта, металла и стекла, соответствующей стандартам, а также обеспечивающей сейсмостойкость», выполняемому в Ташкентском архитектурно-строительном университете в рамках государственных программ, и неразрывно связано с внедрением базальтофибробетона на основе новой технологии.

Целью исследования является изучение прочностных и деформационных характеристик базальтофибробетона, особенностей напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов из базальтофибробетона на основе экспериментальных и теоретических исследований и разработка предложений и рекомендаций по методам их расчета.

Задачи исследования: для достижения поставленной в диссертации цели были сформулированы следующие задачи:

- предложить технологию приготовления бетонной смеси, обеспечивающую равномерное распределение базальтовых волокон по всему объему бетона;
- провести систематические эксперименты по определению прочностных и деформационных свойств базальтофибробетона оптимального состава;
- разработать предложения по определению прочностных и деформационных свойств базальтофибробетона по результатам эксперимента;
- экспериментальное исследование изменения напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов из базальтофибробетона от кратковременных нагрузок под влиянием прочности бетона и процента армирования;
- разработать предложения и рекомендации по расчету прочности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых элементов из базальтофибробетона с использованием методик нормативных документов.

Объект исследования. Стандартные образцы и изгибаемые железобетонные элементы изготовленные из базальтофибробетона.

Предмет исследования. Прочностные и деформационные характеристики базальтофибробетона, прочность, жёсткость и трещиностойкость

железобетонных балок при воздействии кратковременных нагрузок, создающих напряжённо-деформированное состояние.

Методы исследования. Использовались стандартные методы, применяемые при экспериментальных исследованиях бетонных образцов и изгибаемых железобетонных элементов. Статистический анализ результатов исследования, сравнение с существующими экспериментами; методы сравнения расчётов по нормативным методикам с экспериментальными результатами.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- применение нового предложения по технологии приготовления базальтофибробетонных смесей обеспечило равномерное распределение базальтовых волокон по всему объёму бетона;

- с использованием результатов систематических экспериментов и их теоретического анализа установлено, что прочностные и деформационные свойства базальтофибробетона выше, чем у обычного бетона;

- установлено, что добавление суперпластификатора в состав базальтофибробетона увеличивает прочность этого бетона на 20-25%, и создана математическая модель для расчета состава их оптимального содержания;

- установлены реальные значения, отражающие специфичность прочностных и деформационных свойств базальтофибробетона, и даны предложения по их нормированию при расчёте бетонных конструкций;

- определены параметры образования микротрещин, постепенно появляющихся в их структуре при кратковременном сжатии образцов базальтофибробетона, характер повреждений и дано математическое выражение для их расчёта;

- даны практические предложения и рекомендации по использованию при расчёте прочности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых элементов базальтофибробетона.

Практические результаты исследования:

- в результате проведенных исследований получены новые экспериментальные результаты по прочности базальтофибробетона, в том числе бетона с добавлением суперпластификатора;

- внедрение предлагаемой технологии приготовления базальтофибробетонных смесей доказало свою практическую обоснованность;

- по результатам экспериментов установлены особенности прочностных и деформационных характеристик базальтофибробетона в сравнении с аналогичными тяжелыми бетонами того же состава без добавок;

- установлены особенности прочности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых базальтофибробетонных элементов путем сравнения изменения прочности бетона и процента армирования балок из аналогичного тяжелого бетона без добавок;

- представлены дополнительные предложения и рекомендации по расчету базальтофибробетонных изгибаемых элементов по методикам нормативных документов.

Достоверность результатов исследований: Достоверность результатов исследований подтверждается проведением экспериментов с использованием

современных методов и приборов, математико-статистической обработкой полученных результатов и сопоставлением результатов расчётов с экспериментальными данными. Анализы проводились по отношению к результатам, полученным в ходе экспериментальных и теоретических исследований базальтофибробетонных и железобетонных изделий.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования обусловлена тем, что экспериментальными и теоретическими исследованиями установлены важные аспекты прочностных и деформационных характеристик базальтофибробетона, а также прочности, трещиностойкости и сопротивления деформациям изгибаемых элементов из базальтофибробетона при кратковременных нагрузках.

Практическая значимость результатов исследования определяется тем, что использование данных предложений и рекомендаций обеспечивает их надежность, долговечность и эффективность при проектировании конструкций из базальтофибробетона.

Внедрение результатов исследований. На основании полученных результатов по изучению особенностей прочностных и деформационных характеристик базальтофибробетона, применяемого в изгибаемых железобетонных изделиях:

Компанией ООО «BASALT HOLDING» внедрен разработанный технологический регламент «Устройство монолитных базальтофибробетонных полов и гидроизоляционных покрытий с композитной полимерной арматурой» (справка Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан от 25 сентября 2025 года № 34-06/10906). В результате предложена новая технология производства базальтофибробетона;

Результаты научно-практических исследований, полученные в диссертации, внедрены в учебный процесс Ташкентского архитектурно-строительного университета.(справка Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан от 25 сентября 2025 года № 34-06/10906), что позволило непосредственно повысить качество подготовки кадров в университете;

Практические рекомендации диссертации предоставлены для использования научно-проектным центром ООО «SILVER STONE PROJECT». По предварительным расчетам установлено, что применение базальтофибробетона в монолитных полах и гидроизоляционных покрытиях позволяет сэкономить цемент в количестве 50–75 кг/м³ и расход арматуры на 3–5%;

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на 3 международных и 1 республиканской научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 21 научная работа, из них 9 статей опубликованы в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, 1 сборник трудов конференций, индексируемый в международной базе данных

Scopus, 6 статей в сборниках международных и 2 республиканских научно-практических конференций. Кроме того, получены 3 свидетельства на программы для ЭВМ Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Объём диссертации – 120 страницы, 25 таблиц, 40 рисунков и 6 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновывается актуальность темы, определяются цели и задачи, объект и предмет исследования. А также, указывается соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники, описывается научная новизна и практические результаты. Кроме этого, обосновывается достоверность полученных результатов, раскрывается их теоретическая и практическая значимость. Приводится информация о внедрении результатов исследования в практику, их апробации, опубликованных работах и составе диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Особенности свойств и области применения фибробетонов»** проанализированы научно-техническая литература, отечественные и зарубежные публикации, современное состояние и развитие производства и использования фиброволокон в строительной практике, а также теоретические основы и практические методы научных работ, проводимых в мире и в нашей стране по применению фиброволокон в конструкциях работающих на изгиб.

Анализ научных материалов показал, что применение различных видов фиброволокон в качестве дисперсной арматуры обладает определенной технической эффективностью. Прочность фибробетона, изготовленного с их использованием, при сжатии и растяжении может быть повышена на 10–30%, а также обеспечивается стойкость к внешним негативным воздействиям. В зависимости от поставленных в исследовании задач, определение оптимальной технологии фибробетона является актуальной задачей, требующей решения на начальном этапе развития данного направления. Важную роль играют результаты исследований прочностных и деформационных свойств фибробетонов, определение их специфических характеристик и определение областей эффективного применения.

Важным фактором является экспериментальное и теоретическое исследование особенностей напряженно-деформированного состояния ихгибаемых железобетонных элементов из базальтофибробетона при воздействии кратковременных нагрузок, а также предложения и рекомендации по их расчету.

Во второй главе диссертации под названием **«Свойства материалов, используемых в исследованиях и методы проведения испытаний»** изложены свойства материалов, используемых в экспериментальных исследованиях, новая технология производства базальтофибробетона, методы экспериментального исследования прочностных и деформационных свойств базальтофибробетона,

определения параметров микротрещинообразования в бетоне, а также методы изготовления и испытания конструкций из изгибаемых базальтофибро-железобетонных элементов.

Базальтовые фибры (производитель ООО «BASALT HOLDING») состоят из отрезков базальтовых волокон определенной длины. Технические характеристики:

- цвет – бронзовый;
- плотность – 2,8 г/см³;
- длина волокон – 10, 12, 15, 20 мм;
- диаметр отдельных волокон – 13–20 мкм;
- прочность на растяжение – 3500 МПа;
- модуль упругости – 80 ГПа;
- коэффициент удлинения – 2–4,5%.

Перемешивание базальтофибробетонной смеси в гравитационных бетоносмесителях осуществляется за счёт воздействия силы тяжести. При этом смесь щебня и смеси волокон поочередно поднимается вверх и опускается вниз. Технология приготовления предварительных бетонных смесей была отработана в лабораторных условиях в гравитационном бетоносмесителе объёмом 63 л.

Согласно рекомендациям по технологии приготовления базальтофибробетонной смеси, в смеситель загружают 50% щебня и одна часть базальтовой фибры и начинают перемешивание. Продолжая перемешивание, оставшиеся фибры делят на 2-3 части, добавляют и продолжают перемешивание. Затем добавляют оставшиеся компоненты бетона щебень, песок, цемент и воду.

Полученные результаты по технологии приготовления базальтофибробетонной смеси (состояние смесей) представлены на рис. 1.



Рис.1. Состояние базальтофибробетонных смесей при приготовлении по первому (а) и второму (б) типам.

Приготовление базальтофибробетонной смеси по данной технологии создает условия для разделения базальтовых волокон в отдельности и их

равномерного распределения в объеме бетона, поскольку пространство между крупными заполнителями достаточно для их беспрепятственного размещения, а объем цементно-песчаной смеси в бетоне значительно увеличивается, а ее прочность на растяжение повышается за счет волокон.

Для испытания данной технологии первоначально был определен состав базальтофибробетона: - цемент - 425 кг/м³; щебень - 950 кг/м³; песок - 815 кг/м³; базальтовое волокно - 1% от массы цемента; вода - 210 л/м³.

Прочность на сжатие образцов бетона размером 10×10×10 см, изготовленных из данного состава, через 28 суток представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты испытаний

Способ приготовления	Возраст бетона на день испытания, сут.	Прочность бетона без добавок, МПа	Прочность базальтофибробетона, МПа	Рост прочности, %
I тип	7	22,6	25,8	14
	14	26,1	30,2	15,8
	28	30,2	34,8	15,2
II тип	7	22,6	26,4	16,8
	14	26,1	31,0	18,7
	28	30,2	34,2	13,2

Согласно полученным результатам, прочность на сжатие базальтофибробетона увеличилась в среднем на 15% по сравнению с прочностью на сжатие бетона без добавок. Это, в свою очередь, доказывает эффективность предлагаемой технологии приготовления базальтофибробетонной смеси и добавления базальтовой фибры в состав тяжёлого бетона.

На основании полученных результатов на следующем этапе проводимых исследований было запланировано проведение практического исследования различных составов базальтофибробетона.

Для определения прочности на сжатие и растяжение тяжёлых бетонов классов В15, В20 и В30 были изготовлены образцы кубов со стороной 10 см по ГОСТ 10180-2012. Испытания образцов проводились на гидравлических прессах МИГ-1000 и XSN300 в возрасте 7, 14 и 28 суток.

Кроме того, в процессе изготовления образцов были изготовлены призмы из обычного бетона и базальтофибробетона без добавок размером 10×10×40 см, которые были испытаны на сжатие в возрасте 28 суток.

В результате испытания призмённого образца бетона на сжатие были получены данные о его следующих механических свойствах:

- призмённая прочность;
- начальный модуль упругости;
- коэффициент Пуассона;
- предельная сжимаемость (предельная относительная деформация бетона при сжатии).

По результатам проведенных исследований установлено, что прочностные и деформационные свойства базальтофибробетона на основе местного сырья

были недостаточно изучены экспериментальными исследованиями. Кроме того, прочность, жесткость и трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов из базальтофибробетона изучены недостаточно систематическим экспериментальным путем. Учитывая особенности структуры базальтофибробетона, можно ожидать получения новых результатов по напряженно-деформированному состоянию изгибаемых железобетонных элементов с помощью таких экспериментов. В связи с этим были определены задачи и программа данных экспериментальных исследований. Соответственно, для изучения работы изгибаемого железобетона изготовленного из базальтофибробетона под действием кратковременных нагрузок были изготовлены прямоугольные балки сечением 12×24 см и длиной 240 см. Эти балки состоят из трёх серий, в зоне изгиба которых размещены по два арматурных стержня класса А400 диаметром Ø10, Ø12, Ø14 мм. В сжатой зоне размещены два стержня класса А240 диаметром Ø8 мм. В качестве поперечной арматуры использована проволочная арматура класса В-I диаметром Ø5 мм. В средней части балок поперечная арматура не устанавливалась, то есть создавалась зона чистого изгиба (рис. 2 и 3).



Рисунок 2. Вид арматурного каркаса образца балки.



Рисунок 3. Образцы - испытуемых моделей формованных и разформованных балок.

Образцы балок испытывались на изгиб на силовом стенде. Стенд специально подготовлен, он нагружает балки двумя сосредоточенными силами,

что позволяет испытать среднюю часть на чистый изгиб. Общие виды нагрузочного стенда представлены на 4 рисунке.



Рисунок 4. Общий вид стенда для испытания балок

Образцы балок устанавливаются на двух шарнирных опорах стенда предназначенных для испытаний. Условно, один из шарниров изготовленный неподвижным, а другой подвижным. Расстояние между силами составляет 700 мм, а расстояние от опор до груза составляет 750 мм. Расстояние от опор до края балок составляет 100 мм. Нагрузка передается поэтапно с помощью гидравлического домкрата. Для этого использовались распределительные траверсы.

В третьей главе диссертации, озаглавленной **«Результаты исследования прочностных и деформационных характеристик базальтофибробетона»**, показано, что прочность на сжатие и растяжение базальтофибробетона достигается за счет максимального уплотнения структуры базальтофибробетона (вследствие его положительного влияния на прочность) и происходит при расходе базальтового волокна $0,8 \div 1,0\%$. При этом расход цемента в бетоне не изменяется; при каждом расходе цемента ($360, 425$ и 530 кг/м^3) наблюдается рост прочности. Различие в результатах наблюдалось лишь в разнице величины прироста прочности базальтофибробетона. При расходе базальтового волокна менее $0,8 \div 1,0\%$, его количества недостаточно для повышения прочности цементного камня, а при большем расходе происходит ее скапливание в одном месте, то есть происходит неравномерное распределение, что в конечном итоге нарушает однородность структуры базальтофибробетона и вызывает концентрацию напряжений, а микро- и макротрещины появляются значительно раньше.

Аналогичным образом, по результатам экспериментальных исследований было определено влияние длины базальтового волокна на прочность бетона. В данном случае длина базальтового волокна принималась равной 10, 15 и 20 мм. Для каждой серии экспериментов изготавливалось по 6 образцов из обычного бетона и базальтофибробетона, которые испытывались на статическую нагрузку

в возрасте 28-35 суток по ГОСТ 10180. Согласно результатам экспериментов, наибольшая прочность бетона обеспечивалась при длине базальтового волокна 20 мм, то есть когда его длина была равна размерам крупного заполнителя. Исходя из этого, можно предположить, что при длине базальтового волокна менее 20 мм прирост прочности базальтофибробетона недостаточно заметен и наоборот. Причиной этого можно считать длина диспергированного волокна связана с оптимальным его значением. Результаты экспериментального исследования были обработаны с использованием методов математической статистики, их результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Прочность образцов базальтофибробетона и тяжелого бетона без добавок

№	Состав бетона	Расход цемента, кг/м ³	Тип бетона	Средняя прочность, R _m , МПа	Среднеквадратичное отклонение, S _m	Коэффициент вариации, V, %
1	1- Серия	360	Без добавки	25,2	1,62	6,32
			БФБ (10 мм – 0,5%)	27,5	1,67	6,25
			БФБ (10 мм – 1,0%)	27,9	1,64	6,83
			БФБ (10 мм – 1,5%)	27,6	1,84	7,21
			БФБ (15 мм – 0,5%)	27,9	0,74	3,87
			БФБ (15 мм – 1,0%)	29,1	0,92	3,56
			БФБ (15 мм – 1,5%)	28,5	0,80	3,21
			БФБ (20 мм – 0,5%)	29,1	1,02	4,32
			БФБ (20 мм – 1,0%)	30,6	0,47	2,85
			БФБ (20 мм – 1,5%)	29,6	1,55	5,11
2	2- Серия	425	Без добавки	31,4	2,03	6,24
			БФБ (10 мм – 0,5%)	35,9	1,91	5,45
			БФБ (10 мм – 1,0%)	33,8	1,72	5,37
			БФБ (10 мм – 1,5%)	34,3	1,07	3,54
			БФБ (15 мм – 0,5%)	34,9	0,78	2,88
			БФБ (15 мм – 1,0%)	35,7	1,34	4,35
			БФБ (15 мм – 1,5%)	31,5	1,15	4,91
			БФБ (20 мм – 0,5%)	34,5	1,60	5,22
			БФБ (20 мм – 1,0%)	37,4	0,68	2,54
			БФБ (20 мм – 1,5%)	36,7	1,73	5,93
3	3- Серия	530	Без добавки	37,5	1,55	4,74
			БФБ (10 мм – 0,5%)	41,4	1,51	0,04
			БФБ (10 мм – 1,0%)	42,0	0,74	2,63
			БФБ (10 мм – 1,5%)	41,1	1,70	4,71
			БФБ (15 мм – 0,5%)	39,9	1,60	4,36
			БФБ (15 мм – 1,0%)	43,5	1,70	3,13
			БФБ (15 мм – 1,5%)	43,0	1,09	3,89
			БФБ (20 мм – 0,5%)	46,0	0,98	2,66
			БФБ (20 мм – 1,0%)	46,5	1,19	3,85
			БФБ (20 мм – 1,5%)	44,3	0,87	2,69

Примечание: БФБ - базальтофибробетон

Основными факторами приняты: расход цемента на 1 м³ базальтофибробетона, количество базальтового волокна и его длина. Согласно

трёхфакторному плану эксперимента, за получение линейной зависимости отвечает плановая матрица Бокса-Бенкина. Согласно ему в качестве условий планирования экспериментов были определены x_1 – расход цемента, x_2 – длина базальтового волокна и x_3 – расход базальтового волокна.

По условиям планирования данных экспериментов, расход цемента в базальтофибробетоне имеет высокий уровень управляемости; длина и расход базальтовых волокон также считаются высокоуправляемыми для обеспечения прочности таких бетонов.

Полный вид уравнения регрессии для выражения прочности базальтофибробетона имеет вид $R_i = \bar{R}$, что записывается следующим образом:

$$R_i = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (1)$$

где: b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} – коэффициенты в виде взаимного влияния свободных членов уравнения регрессии и факторов.

Коэффициенты уравнения регрессии определялись по формулам для исходных параметров, приведенных в результатах эксперимента: $b_0 = 35,56$, $b_1 = 7,217$, $b_2 = 1,289$, $b_3 = -0,028$, $b_{12} = 0,5$, $b_{13} = -0,008$, $b_{23} = 0,233$, $b_{123} = -0,225$.

Эти коэффициенты были определены с использованием t-критерия Стьюдента; его значение для принятых условий исследования составляет $t = 2,06$.

В качестве математической модели окончательный вид уравнения регрессии для определения прочности базальтофибробетона можно записать следующим образом:

$$R = 35,56 + 7,217 \cdot x_1 + 1,289 \cdot x_2 - 0,028 \cdot x_3 + 0,5 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,008 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,233 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,225 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (2)$$

Данное уравнение (2) обеспечивает определение результатов экспериментальных исследований с доверительным интервалом 0,95, поскольку рассчитанный F-критерий Фишера равен $F_r = 8,22$ и не превышает значения $F_m = 9,55$. Значение F-критерия определялось по приведённой методике.

Прочность на сжатие обычного бетона и базальтофибробетона без добавок определялась методом статической обработки по среднему значению шести образцов, а прочность на растяжение – по среднему значению двух близких друг к другу результатов трёх образцов (таблица 3).

Таблица 3

Прочность на растяжение образцов тяжёлого бетона и базальтофибробетона без добавок

№	Тип бетона	Состав бетона	Возраст образцов, сут.	Прочность, МПа
1	Обычный бетон, без добавок	1-С	28	2,8
		2-С	28	3,2
		3-С	28	3,9
2	Базальтофибробетон	1-С	28	3,4
		2-С	28	3,8
		3-С	28	4,5

По результатам проведенных исследований установлено, что использование местного сырья и добавление базальтовых волокон в тяжелый

бетон повышает его прочность (таблица 4), что, в свою очередь, позволяет улучшить эксплуатационные характеристики конструкций.

Таблица 4

Эффективность добавления базальтового волокна в состав бетона

Базальтовое волокно		Средняя прочность бетона, R_{pp} , МПа	Эффективность добавки, ΔR_{28} , %
длина, мм	количество, %		
Ц=360 кг/м ³		2,8	-
10	1,0	3,1	10,7
12	1,0	3,2	14,3
15	1,0	3,1	10,7
20	1,0	3,4	21,4
Ц=425 кг/м ³		3,2	-
10	1,0	3,7	15,6
12	1,0	3,7	15,6
15	1,0	3,8	18,7
20	1,0	3,5	9,3
Ц=530 кг/м ³		3,9	-
10	1,0	4,1	5,1
12	1,0	4,6	17,9
15	1,0	4,3	10,3
20	1,0	4,5	15,4
Средняя техническая эффективность			≈ 14%

В целях изучения влияния добавки суперпластификатора на прочность базальтофибробетона были использованы химические добавки LEVELCON FX6-SR и LEVELCON PF-300. Количество суперпластификатора было установлено равным 1% от массы цемента, поскольку оно определено по результатам многочисленных исследований и соответствует количеству, указанному производителем добавки (0,6–1,5%).

Для определения прочности на сжатие и растяжение бетонных кубов, изготовленных из бетонов с добавлением суперпластификаторов, были проведены их испытания на гидравлических прессах в возрасте 7 и 28 суток.

Результаты этих испытаний представлены в таблице 5 для бетонов с добавлением LEVELCON FX6-SR и LEVELCON PF-300 соответственно.

Таблица 5.

Результаты испытаний

Тип бетона	Добавка	Возраст образцов, сут.	Прочность, МПа
Тяжелый бетон	FX6	7	31,6
		28	35,3
		Растяжение	4,5
	PF300	7	33,3
		28	39,1
		Растяжение	4,6

Базальтовое волокно использовалось в количестве 1% по отношению к массе цемента, длина составляла 20 мм. Прочность полученных образцов бетонов без

добавок и с добавками суперпластификаторов определялась в возрасте 7 и 28 суток. Полученные результаты представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6

Результаты испытаний

Тип бетона	Добавка	Возраст образцов, сут.	Прочность, МПа
Тяжелый бетон	Базальтовое волокно	7	30,5
		28	37,0
		Растяжение	3,8

Таблица 7

Результаты испытаний

Тип бетона	Добавка	Возраст образцов, сут.	Прочность, МПа
Тяжелый бетон	FX6+Базальт	7	40,1
		28	50,5
		Растяжение	4,9
	PF300+ Базальт	7	41,4
		28	46,0
		Растяжение	4,7

Были определены следующие показатели прочностных и деформационных характеристик базальтофибробетона:

- призмная прочность бетона;
- начальный модуль упругости бетона;
- коэффициент Пуассона;
- коэффициент призмной прочности;
- величина предельной деформации бетона при сжатии.

Начальный модуль упругости (E_b) и коэффициент Пуассона (μ) бетона определялись для каждого образца соответственно при нагрузке, равной 30% от разрушающей:

$$E_{\sigma} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} \quad (3)$$

$$\mu = \frac{\varepsilon_{2y}}{\varepsilon_1} \quad (4)$$

где: $\sigma_1 = \frac{P_1}{F}$ значение напряжения от 30% -ой разрушающей нагрузки;

P_1 - рост внешней нагрузки;

F - фактическая площадь поверхности образца;

ε_1 и ε_2 - соответствующие значения продольных и поперечных деформаций при $P_1=0.3 \cdot P_p$.

Значения ε_{1y} и ε_{2y} определяются по следующим формулам соответственно:

$$\varepsilon_{1y} = \varepsilon_1 - \sum \varepsilon_{1n} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{2y} = \varepsilon_2 - \sum \varepsilon_{2n} \quad (6)$$

где: ε_1 и ε_2 - приросты продольных и поперечных полных относительных деформаций и их значения, полученные в конце этапа нагружения;

$\sum \varepsilon_{1n}$ и $\sum \varepsilon_{2n}$ - сумма значений продольных и поперечных деформаций от быстронатекающей ползучести бетона в момент времени без изменения нагрузки до $P_1 = 0,3 \cdot P_p$

Значения ε_{1n} и ε_{2n} - определялись по среднему показателю.

По полученным результатам испытаний построены диаграммы (σ - ε) базальтофибробетона и обычного бетона при сжатии, представленные на рисунках 5 и 6 соответственно.

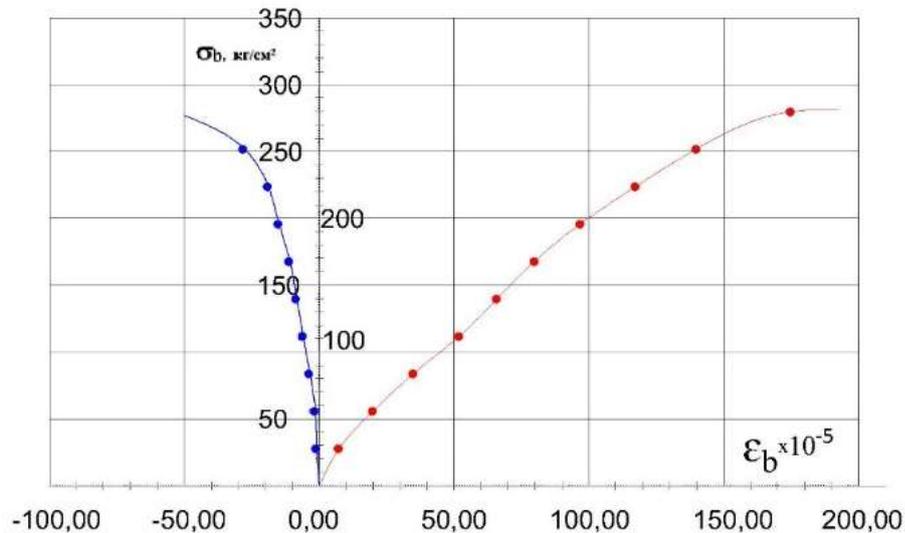


Рисунок 5. Диаграмма «напряжение-деформация» (σ - ε) при сжатии образцов обычного бетона без добавки

По результатам испытаний определялись предельные значения продольных и поперечных деформаций, необходимые для построения диаграммы « σ - ε », которые продолжались до достижения их конечных значений, равных $\frac{\sigma_b}{R_b} = 1,0$.

Призменная прочность бетона (R_b) определялась путем деления зафиксированной разрушающей нагрузки на площадь поперечного сечения образца.

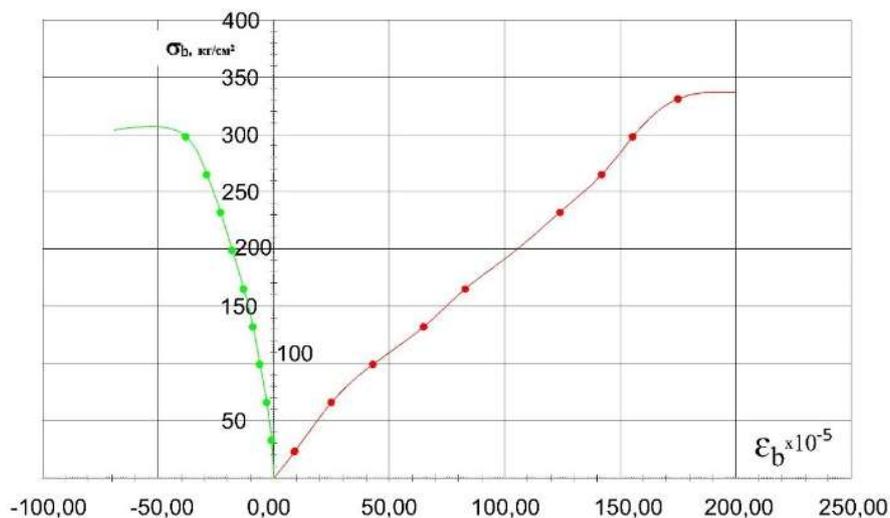


Рисунок 6. Диаграмма «напряжение-деформация» « σ - ε » образцов базальтофибробетона при сжатии

Помимо призмённых образцов из базальтофибробетона и обычного бетона, в процессе их изготовления из той же бетонной смеси отливали кубические образцы. Перед испытанием бетонных призм испытывались на гидравлическом прессе испытывались кубы для определения кубиковой прочности бетона. От среднего значения полученной кубиковой прочности принималась уровень нагрузки, равным 80%, что и служило уровнем нагрузки на каждом этапе испытаний призм. По результатам испытаний рассчитывался коэффициент призмённой прочности ($K_{\text{пн}} = \frac{R_b}{R}$). В результате расчетов получены следующие результаты:

- для базальтофибробетона значение $K_{\text{пн}}$ изменялось в диапазоне 0,84÷0,88;
- для обычного бетона значение $K_{\text{пн}}$ изменялось в диапазоне 0,79÷0,80.

Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что значение $K_{\text{пн}}$ для базальтофибробетона до 10% превышает аналогичный показатель для обычного бетона без добавок. Это можно рассматривать как факт одинакового состава бетонов, с той лишь разницей, что в качестве дисперсной арматуры используется базальтовое волокно. В таблицах 8 и 9 представлены анализ и результаты полученных значений модулей упругости бетонов.

Таблица 8

Результаты сравнения экспериментальных и расчетных значений модулей упругости для базальтофибробетона

№ п.п.	Призмённая прочность R_b , МПа	Опытный модуль упругости $E_b^{\text{оп}}$, МПа	Расчетный модуль упругости $E_b^{\text{р}}$, МПа	$E_b^{\text{р}} / E_b^{\text{оп}}$
1	34,3	32400	33480	1,03
2	33,1	33900	33040	0,97
3	32,6	32800	32850	1,0
4	33,7	33700	33260	0,98
5	34,0	32500	33370	1,03
6	32,1	33200	32650	0,98
7	46,7	46000	37100	0,81
8	48,2	45500	37460	0,82
9	50,1	46300	37880	0,82
10	42,5	45200	36040	0,80
11	47,8	46600	37370	0,80
12	43,6	46400	36330	0,78
Среднее отношение				0,90

Таблица 9.

Сравнение значений начальных модулей упругости
базальтофибробетона

Класс бетона	Модули упругости бетонов ($E_b \cdot 10^{-3}$) МПа		E_b^2 / E_b^1
	Обычный бетон по СНиП 2.01.03-21 (E_b^1)	Базальтофибробетон по эксперименту (E_b^2)	
B25	30,0	-	-
B30	32,5	33,1	1,02
B35	34,5	36,2	1,05
B40	36,0	45,2	1,26
B45	37,5	46,3	1,23
Среднее значение			1,14

При нагружении бетонных призм в определенной точке наблюдается уменьшение её объема. Начало этого уменьшения равно точке R_{crc}^0 и при значении дифференциального коэффициента поперечной деформации $\Delta\nu = 0,5$ данная точка принята равной R_{crc}^v (по методике проф. О.Я. Берга).

Результаты, полученные в данной диссертационной работе для базальтофибробетона, близки к статистическим корреляциям, полученным для тяжёлого бетона, однако экспериментальные результаты для базальтофибробетона значительно выше (рис. 7).

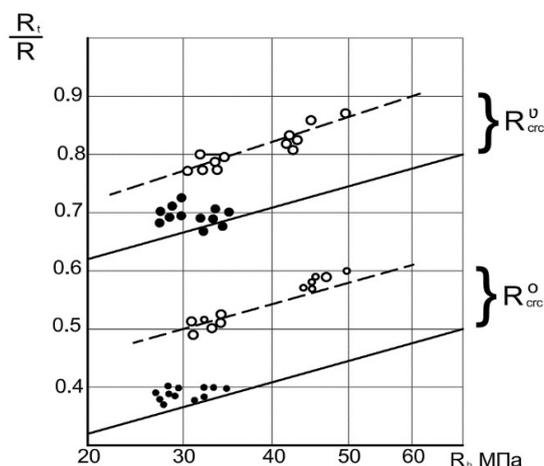


Рисунок 7. Зависимость параметров трещинообразования в базальтофибробетоне от призмной прочности.

----- предлагаемая зависимость для базальтофибробетона;
_____ зависимость для тяжёлого бетона.

Важной особенностью, вытекающей из зависимостей, представленных на рисунке 7, является наличие тесной связи между отношениями R_{crc}^0/R_b и R_{crc}^v/R_b и призмными прочностями бетона, характер которой типичен для аппроксимационного выражения, установленного для тяжёлых бетонов. Сохраняя эту связь, для оценки параметрических точек R_{crc}^0 и R_{crc}^v базальтофибробетона можно предложить следующие выражения:

$$\frac{R_{crc}^0}{R_b} = 0,35 \cdot \lg \cdot R_b - 0,38 \quad (7)$$

$$\frac{R_{crс}^v}{R_b} = 0,35 \cdot \lg \cdot R_b - 0,08 \quad (8)$$

Статистические показатели эффективности полученных результатов по параметрам трещинообразования для базальтофибробетона представлены в таблице 10.

Таблица 10

№ п.п.	Наименование параметров трещинообразования бетона	Значения параметров статистического распределения		
		η	σ	$\delta, \%$
1.	Параметры образования нижних трещин для тяжелого бетона ($R_{crс}^o$)	0,95	0,024	2,6
2.	Параметры образования верхних трещин для тяжелого бетона ($R_{crс}^v$)	0,97	0,013	1,3
3.	Параметры образования нижних трещин для базальтофибробетона ($R_{crс}^o$)	0,97	0,013	1,3
4.	Параметры образования верхних трещин для базальтофибробетона ($R_{crс}^v$)	0,96	0,011	1,2

Примечание: η – среднее значение отношения экспериментальных и расчетных результатов;
 σ – среднеквадратичное отклонение среднего отношения;
 δ – коэффициент вариации.

Статистическая обработка результатов эксперимента показывает, что использование предложенных выражений подтверждает соответствие расчетных и экспериментальных значений параметров $R_{crс}^o$ и $R_{crс}^v$ для базальтофибробетона. Согласно ей, среднее значение отношения экспериментальных и расчетных результатов составляет 0,95–0,97, а коэффициент вариации – 1,2–2,6%.

В четвертой главе диссертации, озаглавленной **«Результаты исследований сопротивления изгибаемых базальтофиброжелезобетонных элементов кратковременным нагрузкам»**, анализируются результаты экспериментальных исследований прочности, трещиностойкости и жесткости балок из базальтофиброжелезобетона, а также обсуждается их технико-экономическое обоснование.

Опытные балки испытывались до разрушения при кратковременных статических нагрузках; методы испытаний были приняты одинаковы для балок из обычного бетона и базальтофибробетона. Постепенное изменение напряженно-деформированного состояния в процессе испытания балок сохранялось в общем равномерно в балках обоих конструктивных решений.

По результатам испытаний разрушение балок из базальтофиброжелезобетона носило вязкий характер и происходило по нормальному сечению. При этом балки с малым процентом армирования разрушались по первому варианту ($\xi < \xi_R$), а остальные – по второму. Их виды представлены на рисунках 8 и 9.



Рисунок 8. Разрушение обычных железобетонных балок без добавок.



Рисунок 9. Разрушение образцов балок из базальтофиброжелезобетона

В таблице 11 представлены результаты испытаний на прочность экспериментальных балок.

Изменение прочности балок

Шифр балок	Прочность бетона, МПа	Класс арматуры	Предельный расчетный момент, М ^к , кН·м	Опытный предельный момент, М ^т , кН·м	М ^к /М ^т
ОВТВ-1-1	33,6	2Ø10А400	10,2	8,1	0,79
ОВТВ -1-2	36,4	2Ø12А400	13,9	11,7	0,84
ОВТВ -1-3	37,3	2Ø14А400	17,6	13,6	0,77
ОВТВ -2-1	33,6	2Ø10А400	10,6	9,23	0,87
ОВТВ -2-2	37,8	2Ø12А400	14,8	12,2	0,82
ОВТВ -2-3	42,5	2Ø14А400	19,2	14,7	0,77
ВФТВ-1-1	39,7	2Ø10А400	10,2	9,2	0,91
ВФТВ-1-2	38,2	2Ø12А400	13,9	13,6	0,98
ВФТВ-1-3	41,8	2Ø14А400	17,6	15,8	0,9
ВФТВ-2-1	42,5	2Ø10А400	10,6	10,3	0,97
ВФТВ-2-2	43,4	2Ø12А400	14,8	14,2	0,96
ВФТВ-2-3	45,1	2Ø14А400	19,2	17,1	0,89

Примечание: 1 - ОВТВ - железобетонная балка из обычного бетона; 2 - ВФТВ - базальтофиброжелезобетонная балка; 3. Первая цифра в коде балки обозначает серию бетона, используемого для балок; вторая цифра обозначает процент армирования, например: 1 – 0,545; 2 – 0,785 и 3 – 1,07%.

При испытании опытных балок моменты образования первых трещин определялись визуально и с помощью микроскопа МПБ-2 с 24-кратным увеличением. После образования трещин они переопределялись и брались за основу при анализе деформаций бетона в сжатой и растянутой зонах балок, а также анализа изменения прогиба опытных образцов. Образование первых трещин в зонах чистого изгиба балок происходило в зависимости от типа бетона и процента армирования при различных уровнях относительной нагрузки.

Таблица 12

Результаты сравнения моментов образования трещин

Шифр балок	Коэффициент армирования, %	Момент образования трещин ($M_{crc}^{оп}$)	Относительное изменение ($M_{crc}^{оп.δ} / M_{crc}^{оп.0}$)
ОВТВ-1-1	0,545	2,4	-
ОВТВ -1-2	0,75	2,6	-
ОВТВ -1-3	1,07	2,88	-
ОВТВ -2-1	0,545	2,3	-
ОВТВ -2-2	0,75	2,7	-
ОВТВ -2-3	1,07	3,03	-
ВФТВ-1-1	0,545	3,5	1,46
ВФТВ-1-2	0,75	4,8	1,85
ВФТВ-1-3	1,07	5,5	1,91
ВФТВ-2-1	0,545	3,7	1,61
ВФТВ-2-2	0,75	3,4	1,26
ВФТВ-2-3	1,07	4,1	1,35
Среднее значение	-	-	1,57

Расчет ширины раскрытия трещин в изгибаемых железобетонных элементах согласно действующим нормативным документам осуществляется путем введения свойств бетона в качестве исходного параметра на основе различных эмпирических соотношений и коэффициентов. На основании этого метода можно утверждать, что в железобетонных балках из базальтофибробетона можно ожидать определенного хода не только момента образования трещин, но и скорее можно ожидать, что ширина раскрытия трещины будет меняться по-своему.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что под действием изгибающего момента $0,6 \div 0,65 \cdot M_u$, возникающего при нагружении изгибаемых железобетонных элементов можно определить, что ширина раскрытия трещин в балках типа ОВТВ равна $a_{crc} = 0,8 \div 0,9$ мм, а в балках типа ВФТВ - $a_{crc} = 0,5 \div 0,6$ мм.

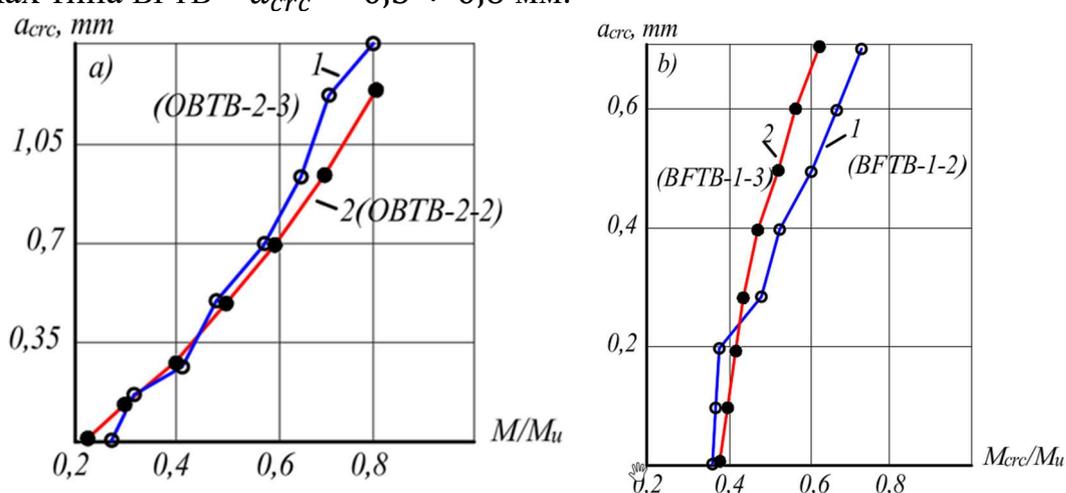


Рисунок 10. Развитие ширины раскрытия трещин в балках в зависимости от степени нагружения.

а – балки из обычного железобетона;

б – балки из базальтофибробетона.

В ходе экспериментальных исследований прогибы опытных балок измерялись на каждом этапе нагружения с помощью прогибомеров и индикаторов.

Зависимости изменения прогибов, зарегистрированных в балках ОВТВ и ВФТВ от относительных нагрузок (M/M_u), представлена на рисунках 11 и 12 соответственно, где графики показаны отдельно для образцов серий 1 и 2.

Судя по ходу графиков, можно сказать, что рост прогибов для каждого типа балок продолжался по закону, близкому к линейному изменению нагрузки, вплоть до $0,8 \div 0,85 \cdot M_u$.

Экспериментальные значения предельного прогиба балок ОВТВ составили 8–12 мм, для балок ВФТВ этот же показатель составил 10–12 мм, т.е. их значения весьма близки. Однако при эксплуатационных нагрузках значения прогиба балок 2-й серии не превышали 4–5 мм, поскольку бетон этих балок обладал более высокой прочностью. Разница между прогибом балок 1-й и 2-й серий при воздействии таких нагрузок не превышала 10%.

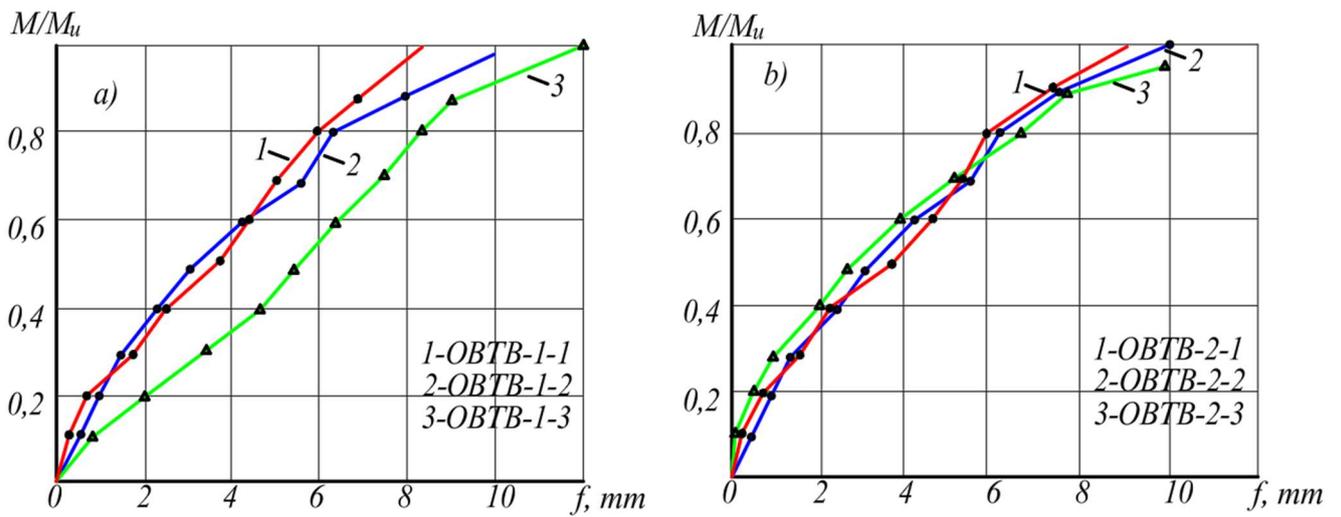


Рисунок 11. Графики изменения прогиба в зависимости от увеличения нагрузки в сериях 1 (а) и 2 (б) балок ОБТВ

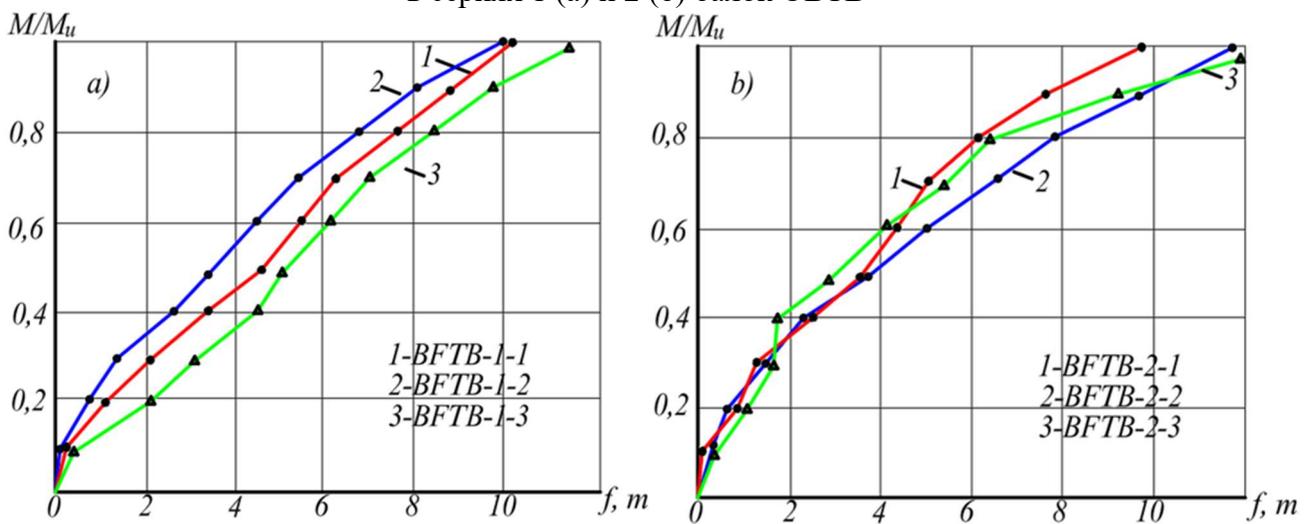


Рисунок 12. Графики изменения прогибов в зависимости от увеличения нагрузки в сериях 1 (а) и 2 (б) балок БФТВ.

Результаты сравнения прогибов балок

Шифр балок	Свойства бетона		Процент армирования, %	При $M_u = 0,6 \cdot M^{max}$		При $M_u = M^{max}$	
	R, МПа	$E_b \times 10^3$		прогиб, f, мм	отклонение, f/[f]	прогиб, f, мм	отклонение, f/[f]
ОВТВ-1-1	31,4 (27,2)	3,25	0,545	4,1	0,37	8,2	0,37
ОВТВ -1-2			0,785	4,5	0,41	9,8	0,44
ОВТВ -1-3			1,07	6,4	0,58	11,8	0,54
ОВТВ -2-1	37,5 (31,7)	3,56	0,545	4,8	0,43	9,1	0,41
ОВТВ -2-2			0,785	4,3	0,39	10,2	0,46
ОВТВ -2-3			1,07	3,8	0,345	10,8	0,49
ВФТВ-1-1	37,4 (33,3)	3,34	0,545	5,4	0,49	10,4	0,47
ВФТВ-1-2			0,785	4,6	0,42	9,8	0,45
ВФТВ-1-3			1,07	6,2	0,56	11,4	0,52
ВФТВ-2-1	46,5 (43,5)	4,6	0,545	4,4	0,4	9,6	0,44
ВФТВ-2-2			0,785	4,8	0,44	10,8	0,49
ВФТВ-2-3			1,07	4,2	0,38	11,0	0,5

Примечание: при $M_u = 0,6 \cdot M^{max}$ предельный прогиб принят $[f, \text{мм}] = \frac{L}{200} = 11,0 \text{ мм}$;
при $M_u = M^{max}$ предельный прогиб принят $[f, \text{мм}] = \frac{L}{100} = 22,0 \text{ мм}$

По результатам испытаний в таблице 13 сравниваются значения прогибов обоих типов балок. Согласно результатам сравнения, при обоих значениях нагрузки прогиб балок существенно меньше предельного, то есть его значение в процентном отношении не превышает 40–60%. Это обусловлено влиянием свойств бетона и процентом армирования балок. Отдельно можно выделить влияние разницы в значениях модуля упругости бетона.

В заключительной части диссертации представлен анализ технико-экономических показателей внедрения результатов исследования в практику.

На основании результатов экспериментальных исследований диссертации разработан и согласован с ООО «BASALT HOLDING» «Технологический регламент на устройство монолитных базальтофибробетонных полов и гидроизоляционных покрытий с композитной полимерной арматурой» для применения в строительстве. На данном предприятии производятся базальтовые волокна и базальтовая композитная полимерная арматура, то есть предприятие, ее производящее и использующее, является одной организацией.

В разделе 2 технологического регламента приведено «Проектирование базальтофибробетонных полов и гидроизоляционных покрытий» и их конструктивные решения. В приложении к настоящему документу приведен расход материалов на 1 м³ бетона, согласно которому расход цемента для базальтофибробетона на 50–75 кг/м³ меньше расхода цемента в тяжелом бетоне без добавок при равных классах прочности бетона. Ниже приведен расчет получаемого экономического эффекта.

При экономии 35 тыс. сумов на 1 м³ бетонного напольного покрытия можно будет обеспечить снижение затрат на 8 400 000 сумов для объема площадью 40 м x 60 м x 0,1 м = 240 м³.

ВЫВОДЫ

На основании результатов экспериментальных и теоретических исследований, проведенных в данной диссертации, можно сделать следующие выводы:

1. Предложена новая технология производства базальтофибробетона на основе местного сырья, оптимальный состав которого установлен с использованием методов математического планирования экспериментов. С помощью предварительных экспериментов изучено влияние расхода цемента и суперпластификаторов на прочность базальтофибробетонов оптимального состава.

2. Результаты экспериментов и их анализ показали, что прочностные и деформационные характеристики базальтофибробетона выше соответствующих свойств тяжелого бетона без добавок того же класса, а именно:

- прочность при сжатии (R_b) и растяжении (R_{bt}) в среднем на 15 и 25% выше соответственно;

- начальный модуль упругости (E_b) и коэффициент Пуассона (μ) увеличиваются на 15–20% и 10%;

- предельные деформации при сжатии (ε_{cu}) в среднем на 10% выше;

3. Параметры трещинообразования при сжатии базальтофибробетона (R_{crc}^o и R_{crc}^v) при кратковременных нагрузках в среднем на 10% выше, чем у тяжелого бетона, основной причиной этого является положительный эффект от введения в состав бетона базальтовых волокон, что приводит к более прочному формированию контактных зон и большему восприятию внешних усилий крупными заполнителями.

4. С целью учета особенностей прочностных и деформативных характеристик базальтофибробетона при проектировании конструкций разработаны предложения по определению их нормативных значений. Эти предложения основаны на результатах проведенных систематических экспериментальных исследований.

5. Получены новые результаты исследования прочности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых элементов из базальтофиброжелезобетона при воздействии кратковременного нагружения; в качестве переменных факторов рассматривались прочность базальтофибробетона и процент армирования балок. Анализ полученных результатов проведен с позиций теории сопротивления железобетона.

6. Установлено, что балки из базальтофиброжелезобетона имеют на 15–20% больший предельный изгибающий момент (M) и момент трещинообразования (M_{crc}), на 5–10% меньшую ширину раскрытия трещины (a_{crc}) и на 15% меньший прогиб (f) по сравнению с обычными железобетонными балками.

7. Учитывая преимущества прочностных и деформационных характеристик базальтофибробетона, обусловленные его высокой трещиностойкостью, а также высокие экспериментальные показатели балок из базальтофиброжелезобетона, признано целесообразным расширение их практического применения.

8. При расчете изгибаемых элементов из базальтофиброжелезобетона рекомендуется использовать действующие нормативные документы,

основанные на методе предельных состояний, учитывающие свойства базальтофибробетона и напряженно-деформированное состояние элементов.

9. Разработан технологический регламент по согласованию с производителем ООО «BASALT HOLDING» на внедрение базальтофибробетона и технологию его производства для устройства монолитных бетонных покрытий полов и гидроизоляционных покрытий. Предварительными расчетами установлено, что эффективность использования базальтофибробетона в таких конструкциях составляет 50-75 кг/м³ по расходу цемента и 3-5% по содержанию арматуры.

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

**TASHKENT UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND CIVIL
ENGINEERING**

ERGASHOV JASURBEK DILMURODOVICH

**FEATURES OF STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS
OF BASALT FIBER CONCRETE USED IN FLEXIBLE REINFORCED
CONCRETE ELEMENTS**

05.09.01 – Building structures, buildings and facilities

**DISSERTATION ABSTRACT
of the doctor of philosophy (PhD) on technical sciences**

Tashkent– 2025

The theme of doctor of philosophy dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan B2024.3.PhD/T4964

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

The abstract of the dissertation is available in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Academic Council at (www.taqi.uz) and Information and Educational portal «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Scientific advisor:

Akramov Khusnitdin Axrarovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Siddikov Ikrom Iminjanovich
doctor of technical sciences, DSc. professor

Yuvmitov Anvar Sayfullaevich
doctor of technical sciences, DSc. s.r.f.

Leading organization:

JSC "Uzogirsanoatloyiha"

The defence of the dissertation will take place on «25» nowember 2025 at 10:00 at the Scientific Council numbered DSc.26/30.12.2019.T.11.01 meeting at Tashkent University of Architecture and Civil Engineering as the following address: 100011, Tashkent, Yunusobod, street Yangishahar 9, Building 4, 5th floor tel/faks (55) 508-50-14, 508-03-12 e-mail: taqi_atm@edu.uz.

The dissertation is registered in Information-Resource Center at Tashkent University of Architecture and Civil Engineering (registration number № 175). The text of the dissertation is available at the Information Research Center at the following address: 100011, Tashkent, Yunusobod, street Yangishahar 9, Tel: (+ 99890) 372-71-94, faks (+ 99871) 234-15-11, Email: taqi_atm@edu.uz.

The abstract of the dissertation has been sent out "11" nowember 2025 year.
(register of the mailing protocol no.58/2025 from "06" October 2025 year).



A.I. Adilxodjayev

Vice chairman of the Scientific Council for the award
the degree of Doctor of Science,
Doctor of technical Sciences, Professor

I.I. Siddiqov

Scientific Secretary of the Scientific Council for the award
doctoral degree, Doctor of technical Sciences, Professor

B.A. Askarov

Chairman of scientific seminar at the attachment to the Scientific Council
for the award the degree of Doctor of technical Science,
Doctor of technical Science Professor

INTRODUCTION (abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD))

Purpose of the study is to study the strength and deformation characteristics of basalt fiber concrete, the specific features of the stress–strain state of basalt fiber reinforced flexural elements based on experimental and theoretical studies, and to develop proposals and recommendations for calculation methods.

Research objectives:

To achieve the goal set in this dissertation, the following tasks were formulated:

to propose a technology for preparing a concrete mixture that ensures uniform distribution of basalt fibers throughout the concrete volume;

to conduct systematic experiments to determine the strength and deformation properties of basalt fiber concrete with the optimal composition;

to develop proposals for determining the strength and deformation characteristics of basalt fiber concrete based on experimental results;

to experimentally study the change in the stress–strain state of basalt fiber reinforced flexural elements under short-term loads depending on concrete strength and reinforcement ratio;

to develop proposals and recommendations for calculating the strength, crack resistance, and deformability of basalt fiber reinforced flexural elements using methods of regulatory documents.

Object of the study: Standard specimens and flexural reinforced concrete elements made of basalt fiber concrete.

Subject of the study: Strength and deformation characteristics of basalt fiber concrete, strength, stiffness, and crack resistance of reinforced concrete beams under short-term loads creating a stress-strain state.

Research methods: Standard methods used in experimental studies of concrete samples and flexural reinforced concrete elements were applied. Statistical analysis of the results, comparison with existing experiments, and comparison of normative calculation methods with experimental results were carried out.

Scientific novelty of the research lies in the following:

a theoretical analysis of systematic experimental results on the strength and deformation characteristics of basalt fiber concrete was conducted;

a new technology for preparing basalt fiber concrete mixtures was proposed, according to which basalt fibers are pre-mixed with a portion of the coarse aggregate, ensuring uniform distribution of the fibers throughout the concrete volume;

the change in basalt fiber concrete strength due to the addition of superplasticizers was determined, and a mathematical model for calculating the optimal composition was developed;

actual values of the strength and deformation properties of basalt fiber concrete were determined, and proposals for their standardization in structural calculations were given;

the pattern of cracking and failure characteristics of basalt fiber concrete samples under short-term compression was identified and analyzed;

experimental results on the effect of concrete strength and reinforcement ratio on the strength, crack resistance, and deformation performance of basalt fiber reinforced flexural elements were obtained, and proposals and recommendations for their calculation using current design documentation methods were developed.

Practical results of the research:

- The application of a new technology for preparing basalt fiber concrete mixtures ensured uniform distribution of basalt fibers throughout the entire concrete volume;

- Using the results of systematic experiments and their theoretical analysis, it was established that the strength and deformation properties of basalt fiber concrete are higher than those of conventional concrete;

- The addition of a superplasticizer to basalt fiber concrete increased its strength by 20-25%, and a mathematical model was developed for calculating its optimal content;

- Actual values reflecting the specificity of the strength and deformation properties of basalt fiber concrete were established, and proposals for their standardization in the design of concrete structures were provided;

- The formation parameters of microcracks that gradually appear in their structure during short-term compression of basalt fiber concrete samples were determined, the nature of the damage was determined, and a mathematical expression for their calculation was provided;

- practical suggestions and recommendations are given for use in calculating the strength, crack resistance and deformability of bending elements of basalt fiber concrete.

Reliability of the research results:

The scientific significance of the research results is due to the fact that experimental and theoretical studies have established important aspects of the strength and deformation characteristics of basalt fiber concrete, as well as the strength, crack resistance and resistance to deformation of bending elements made of basalt fiber concrete under short-term loads.

Implementation of the research results: Based on the obtained results from studying the strength and deformation characteristics of basalt fiber concrete used in flexible reinforced concrete products:

BASALT HOLDING LLC has implemented the developed technological regulations for "Construction of monolithic basalt fiber concrete floors and waterproofing coatings with composite polymer reinforcement" (according to the certificate from the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan dated September 25, 2025, No. 34-06/10906). As a result, a new technology for the production of basalt fiber concrete has been proposed.

The results of scientific and practical research obtained in the dissertation have been introduced into the educational process of the Tashkent University of Architecture and Civil Engineering. (according to the certificate from the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan

dated September 25, 2025, No. 34-06/10906). As a result, its implementation in the educational process directly improved the quality of personnel training at the university.

The practical recommendations of the dissertation are provided for use by the scientific design center of SILVER STONE PROJECT LLC. Preliminary calculations have shown that the use of basalt fiber concrete in monolithic floors and waterproofing coatings allows for cement savings of 50–75 kg/m³ and reinforcement consumption of 3–5%.

Approbation of the research results:

The main results of the dissertation were presented and discussed at 3 international and 1 national scientific and practical conferences.

Publication of the research results:

A total of 21 scientific papers have been published on the topic of the dissertation. Among them, 9 articles were published in scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of dissertations; 1 paper was published in a conference proceedings indexed in the international database Scopus; 6 articles were published in the proceedings of international scientific and practical conferences, and 2 articles in the proceedings of national scientific and practical conferences. In addition, 3 certificates for computer software were obtained from the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan.

Structure and scope of the dissertation:

The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total volume of the dissertation is 120 pages, including 25 tables, 40 figures, and 6 appendices.

E'lon qilingan ishlar ro'yxati
Список опубликованных работ
List of published works
I-бўлим (I часть; I part)

1. Akramov X.A., Ergashov J.D., “Temirbeton konstruksiyalarida ishlatiladigan fibro tolalarning turlari va samadorligi”, “Arxitektura, Qurilish va Dizayn” Ilmiy-amaliy jurnali №1 TAQI 2022 y. -s. 130-134. (05.00.00. №4)

2. Akramov X.A., Ergashov J.D., “Влияние дисперсного армирования на свойства цементных бетонов”, “Arxitektura, Qurilish va Dizayn” Ilmiy-amaliy jurnali №2 TAQI 2022 y. -s. 217-223. (05.00.00. №4)

3. Akramov X.A., Yusupov R.R., Ergashov J.D. “Особенности технологии и свойств бетонов с использованием неметаллических фиброволокон.”, “Me'morchilik va qurilish muammolari” Ilmiy-amaliy jurnali №1, SAMDAQU 2023y, s.42-45. (05.00.00. №14)

4. Asqarov B.A., Yusufxo'jaev S.A., Ergashov J.D. “Betoning tarkibiy tuzilishi xususiyatlari va uni dispers armaturalash”, “Arxitektura, Qurilish va Dizayn” Ilmiy-amaliy jurnali №2 TAQU 2023 y. s.104-108. (05.00.00. №4)

5. Akramov X.A., Yusupov R.R., Ergashov J.D. “Влияние суперпластификаторов на формирование структуры и прочностные свойства бетона”, “Arxitektura, Qurilish va Dizayn” Ilmiy-amaliy jurnali №3 TAQU 2023 y. s.224-228. (05.00.00. №4)

6. Akramov X.A., Yusupov R.R., Ergashov J.D. “Bazaltfibrobeton optimal tarkibini eksperimental aniklashning natijalari” “Arxitektura, Qurilish va Dizayn” Ilmiy-amaliy jurnali №1 TAQU 2024 y. s.223-227. (05.00.00. №4)

7. Akramov X.A., Toxirov J.O., Ergashov J.D., Samadov X.S. “Temir-beton elementlarda fibra tolalardan foydalanishning texnik-iqtisodiy samaradorligi.”, “Muhandislik va iqtisodiyot” ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik, fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal №4 2024 y. s.557-561. (05.00.00.)

8. Akramov X.A., Yusupov R.R., Ergashov J.D. “Трещинообразование и разрушение базальтофибробетона при кратковременном действии сжимающей нагрузки”, “UNIVERSUM:ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ” ilmiy jurnal №5(134) Moskva 2025 y. 28-34 b. (02.00.00. №1)

9. Ergashov J.D., “Mahalliy xom ashyo materiallari asosida bazaltfibrobeton texnologiyasi va mustaxkamligining o'ziga xosligi”, “JIZPI XABARNOMASI” ilmiy-texnik jurnal №2 2025 y. 281-289 b. (05.00.00.)

II -bo'lim (II часть; II part)

1. Akramov X.A., Ergashov J.D., “Qurilishda mustaxkamligi yuqori bo'lgan fibro tolani beton qorishmasida qo'llash”, “Iqtisodiyotni raqamlashtirish sharoitida korporativ boshqaruv modellarining transformatsiyasi” xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. TDTU 2022 y s.88-93.

2. Akramov X.A., Ergashov J.D., “Mustaxkamligi yuqori bo'lgan fibrobetonlarni ko'p qavatli binolarda qo'llash masalalari taxlili”, “Zamonaviy arxitekturada chizma geometriya masalalarini qo'llash muammolari va yechimlari” Namangan, TXTI. 2022. S. 158-161.

3. Akramov X.A., Yusupov R.R., Ergashov J.D. “Влияние

суперпластификаторов на формирование структуры и прочностные свойства бетона”, “Zamonaviy qurilish sohasida ta’lim, ilm va innovatsiya” xalqaro ilmiy-texnik anjuman TAQU 2023 y. 154-158 b.

4. Yusupov R.R., Yusufxo’jaev S.A., Ergashov J.D. “Xar xil turdagi tolalar bilan dispers armaturalangan betonlarning xossalari”, “Qurilishda innovatsion texnologiyalar” Xalqaro ilmiy-amaliy anjumani. TAQU 2023y s.76-79

5. Asqarov B.A., Yusufxo’jaev S.A., Ergashov J.D. “LEVELCON superplastifikatorining og‘ir beton mustaxkamligiga ta’siri tadqiqoti”, "Energiya va resurstejamkor zamonaviy qurilish materiallarini ishlab chiqarish istiqbollari" Xalqaro miqyosdagi ilmiy-amaliy anjumani, TAQU, 2023 yil 20-21 noyabr.

6. Akramov X.A., Yusupov R.R., Ergashov J.D. “Efficient technology of basalt fiber-reinforced concrete for use in monolithic construction”, E3S Web of Conferences, Ukraina, 2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345206003>

7. Akramov X.A., Yusufxo’jaev S.A., Ergashov J.D., Usmonova D.A. “Bazaltfibrobeton mustaxkamligiga superplastifikator qo‘shimchasining ta’siri.”, “MAHALLIY XOM-ASHYOLAR ASOSIDA INNOVATSION QURILISH MATERIALLARINI ISHLAB CHIQRISH” Xalqaro ilmiy-amaliy anjuman. 2024y, s.177-182.

8. Ergashov J.D., Usmonova D.A. “Fiber concrete technology mixtures based on local materials.”, “Zamonaviy dunyoda innovasion tadqiqotlar: Nazariya va amaliyot” 2024 yil 25(53) 73-77 b.

9. Ergashov J.D., “Eksperimentni matematik rejalashtirish usuli bo‘yicha bazaltfibrobeton mustaxkamligini tadqiqoti”, “Arxitektura, qurilish va muxandislik soxalarida zamonaviy qurilish materiallari va va texnologiyalari” Xalqaro ilmiy va ilmiy-texnik anjuman. NamDTU 2025 y. 637-644 b.

10. Yusupov R.R., Ergashov J.D., Xo’jaev D.X. “Betonlarning mustahkamligini aniqlash uchun o‘tkazilgan eksperimental tadqiqotlar va laboratoriya sinovlari natijalariga statistik ishlov berish”, DGU №27718, 20.09.2023y.

11. Asqarov B.A., Yusupov R.R., Ergashov J.D. “Qurilishda qo‘llash uchun bazaltfibrobetonning samarali texnologiyasi haqida dasturiy platforma.”, DGU №28407, 07.10.2023y.

12. Akramov X.A., Yusufxo’jaev S.A., Ergashov J.D. “Mahalliy xom ashyo materiallar asosida bazaltfibrobetonning tarkibini optimallashtirish dasturi.”, DGU №30928, 19.11.2023y.

Avtoreferat “Arxitektura. Qurilish. Dizayn”
ilmiy-amaliy jurnal tahririyatidan o'tkazildi va
matnlarini mosligi tekshirildi (07.11.2025 yil)

Bichimi 60x14 1/16. Raqamli bosma usuli. “Times New Roman”
garniturasida. “MAX PROSTIL” MCHJ bosmaxonasida chop etildi. 100095,
Toshkent shahri, Olmozor tumani, Ziyo ko'chasi 6-uy