POLIFUNKSIONAL QO'SHIMCHA VA SANOAT SHLAGI ASOSIDAGI KOMPLEKS MODIFIKATORNING SEMENT TOSHI GIDRATATSIYASI, STRUKTURASI VA MUSTAHKAMLIGIGA TA'SIRI

Turapov Farxod Xursanovich

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti dotsent,v.b,.

ORCID: 0009-0000-1550-8657

Rajapov Ramazon Shuxratovich

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti o'qituvchisi.

Omonov O'rol Chori o'g'li

"IDEAL EKSPERT LOYIHA" MCHJ loyiha bosh muhandisi

Annotatsiya. Maqolada qizdirilmaydigan va kam qizdiriladigan beton texnologiyasi uchun polikarboksilat asosidagi polifunksional qo'shimcha (PFQ) va mexanik faollashtirilgan po'lat eritish shlagi (PESh) dan iborat kompleks modifikatorning sement toshi xossalariga ta'siri o'rganilgan. PESh ning ratsional parametrlari (nisbiy sirt yuzasi 3000 sm²/g, sement massasiga nisbatan 25 %) va PFQ ning optimal dozasi (0,4 %) aniqlandi. Kompleks modifikator normal quyuqlikni 26 dan 18 % gacha kamaytirdi, qotish tugashini 360 dan 260 daqiqagacha qisqartirdi, dastlabki mustahkamlikni nazorat tarkibiga nisbatan 59–61 % ga oshirdi va sement toshi mustahkamligini 87 MPa gacha yetkazdi. Rentgenfazaviy va termik tahlil $Ca(OH)_2$ miqdori 29,3 dan 23,7 % gacha kamayishini, 60 sutkada pH 12,62 saqlanishini ko'rsatdi. Natijalar kompleks modifikatorni kam energiya talab qiladigan beton texnologiyasida qo'llash imkonini asoslaydi.

Kalit so'zlar: *sement toshi, polifunksional qo'shimcha, po'lat eritish shlagi, mexanik faollashtirish, gidratatsiya kinetikasi, pH, rentgenfazaviy tahlil.*

Аннотация. В статье изучено влияние комплексного модификатора на основе полифункциональной добавки на основе поликарбоксилата и механически активированного сталеплавильного шлака на свойства цементного камня для беспрогревной и малозатратной технологии бетона. Определены рациональные параметры шлака (удельная поверхность 3000 см²/г, степень наполнения 25 %) и оптимальная дозировка добавки (0,4 %). Комплексный модификатор снизил нормальную густоту с 26 до 18 %, сократил конец схватывания с 360 до 260 мин, повысил раннюю прочность на 59–61 % и обеспечил прочность цементного камня до 87 МПа. Рентгенофазовый и термический анализы показали снижение содержания $Ca(OH)_2$ с 29,3 до 23,7 % и сохранение pH 12,62 в возрасте 60 сут.

Ключевые слова: *цементный камень, полифункциональная добавка, сталеплавильный шлак, механическая активация, кинетика гидратации, pH, рентгенофазовый анализ.*

Abstract. The effect of a complex modifier based on a polycarboxylate polyfunctional admixture (PFA) and mechanically activated steelmaking slag (SMS) on the properties of cement stone was studied for non-heated and low-heated concrete technology. The rational slag parameters (specific surface 3000 cm^2/g, 25 % of cement mass) and the optimal admixture dosage (0.4 %) were determined. The complex modifier reduced the normal consistency from 26 to 18 %, shortened the final setting time from 360 to 260 min, increased early strength by 59–61 % relative to the control and provided a cement stone strength of up to 87 MPa. X-ray phase and thermal analyses showed a decrease in $Ca(OH)_2$ content from 29.3 to 23.7 % and retention of pH 12.62 at 60 days.

Keywords: *cement stone, polyfunctional admixture, steelmaking slag, mechanical activation, hydration kinetics, pH, X-ray phase analysis.*

Kirish Qizdirilmaydigan va kam qizdiriladigan beton texnologiyasi issiqlik bilan ishlov berishga ketadigan energiya sarfini kamaytirishga imkon beradi. Sement gidratatsiyasining ekzotermik issiqligidan foydalanish yig’ma buyumlar ishlab chiqarishda ham, monolit qurilishda ham qotishni tezlashtirib, energiya xarajatlarini sezilarli qisqartirishi mumkin [12].

Qurilish sanoatida asosan monofunksional qo’shimchalar qo’llanadi, biroq yuqori xossalar majmuasiga ega betonlarni olish uchun ularning barchasini birgalikda boshqaradigan ko’p maqsadli polifunksional modifikatorlar talab etiladi [1, 7, 8]. Superplastifikatorlar sement tizimining suvga bo’lgan ehtiyojini kamaytirsa-da, odatda gidratatsiyaning dastlabki bosqichini sekinlashtiradi [9, 10], bu esa ularni qizdirilmaydigan texnologiyada qo’llashni cheklaydi. Qotishni tezlatuvchi komponent (masalan, ammiakli suv) kiritilgan polifunksional qo’shimcha bu qarama-qarshilikni bartaraf etishi mumkin [7, 8].

Sement tizimi strukturasini yo’naltirilgan boshqarishning yana bir yo’nalishi — mineral modifikatorlardan foydalanish. Mikroto’ldirgichning samaradorligi uning tabiati, faolligi va dispersligiga bog’liq, o’ta faol qo’shimchalar esa salbiy ta’sir ko’rsatishi ham mumkin [2, 4, 6]. Dispersiya ortishi bilan sirtdagi faol adsorbsion markazlar soni ko’payadi, biroq ma’lum chegaradan so’ng bu o’sish sekinlashadi va zarrachalar agregatsiyasi boshlanadi [4, 5]. Shu sababli o’rtacha faollikdagi texnogen qo’shimcha, xususan, po’lat eritish shlagini polifunksional qo’shimcha bilan birga

qo’llash istiqbolli, ammo ularning kompleks ta’siri sement toshining gidratatsiyasi, strukturasi va g’ovak suyuqlik ishqoriyligiga nisbatan yetarli darajada o’rganilmagan.

Tadqiqot maqsadi — polikarboksilat asosidagi polifunksional qo’shimcha va mexanik faollashtirilgan po’lat eritish shlagidan iborat kompleks modifikatorning sement toshining qotish kinetikasi, mustahkamligi, g’ovak suyuqlik pH i hamda faza tarkibiga ta’sirini aniqlash.

Materiallar va usullar Tadqiqotda ishlatilgan xom ashyolar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Ishlatilgan materiallar va ularning asosiy tavsiflari

Material	Manba	Asosiy tavsif
Portlandsement CEM I 32.5N	«Ohangaronsement»	Zichligi 3,15 g/sm³; nisbiy sirt yuzasi 3200 sm²/g; normal quyuqlik 27,0 %; 28 sutkada siqilishdagi mustahkamlik 33,6 MPa; C_3S 60 %, C_2S 14 %, C_3A 7 %, C_4AF 16 %
Po’lat eritish shlagi (PESh)	«Mexanika quyuv zavodi», O’zbekiston temir yo’llari AJ	SiO_2 48,21 %; Al_2O_3 19,27 %; MnO 17,62 %; FeO 7,63 %; MgO 5,99 %; CaO 0,27 %
Kul uchqindisi (KU), taqqoslash uchun	Yangi Angren IES	SiO_2 49,7 %; Al_2O_3 19,1 %; Fe_2O_3 10,5 %; CaO 11,5 %
POLIMIX	ARMENT Construction Chemicals	Polikarboksilat asosidagi superplastifikator; zichligi 1,07 ± 0,02 g/sm³; pH 4,2 ± 1,0
POLIMIXJBI (PFQ)	ARMENT Construction Chemicals	Polikarboksilat va ammiakli suv asosidagi polifunksional qo’shimcha; zichligi 1,23 ± 0,02 g/sm³; pH 4,5 ± 1,0

Mexanik faollashtirish. PESh 105 °C da doimiy massagacha quritilib, SHLM-100 laboratoriya sharli tegirmonida zarbli-yedirilish rejimida maydalandi. Nisbiy sirt yuzasi PSX-11A qurilmasida (Kozeni–Karman usuli), agregatsiya №008 elakdagi qoldiq bo’yicha baholandi. Optimal dispersiya va to’ldirish darajasini aniqlash uchun suv-sement nisbati 0,45 bo’lgan mayda donador beton 40×40×160 mm balka namunalarida S_{nis} = 1000–4000 sm²/g va to’ldirish darajasi 5–40 % oralig’ida sinaldi.

Tarkiblar va sinov usullari. Qo’shimchalar dozasi sement massasining 0,2–1,2 % oralig’ida olindi; suvning 2/3 qismi sementni namlash uchun purkash orqali, qolgan 1/3 qismi qo’shimcha bilan birga kiritildi. Tadqiq etilgan tarkiblar: nazorat (qo’shimchasiz); PS+KU (30 %); PS+PESh (25 %); PS+POLIMIX; PS+POLIMIXJBI; PS+POLIMIX+PESh; PS+POLIMIXJBI+PESh; PS+POLIMIXJBI+KU (30 %) (PS — portlandsement). Normal quyuqlik va qotish

muddati Vika asbobida (GOST 310.3-76) aniqlandi. Mustahkamlik 20×20×20 mm (sement toshi) va 40×40×160 mm namunalarda ST-2000R gidravlik presida GOST 310.4-81 bo'yicha, plastik mustahkamlik Rebinder konusli plastometrida [3] aniqlandi. Ekzotermiya 400 g normal quyuqlikdagi sement xamiri (diametri 70 mm, balandligi 80 mm qolip) da Testo 830-T1 termodatchigi bilan ekstruzion penopolistirol termokassetada 30 soat davomida qayd etildi [13]. G'ovak suyuqlik pH i Mettler Toledo pH-metrida: 1 g kukun 20 ml distillangan suvda, 10 daqiqadan 60 sutkagacha o'lchandi. Termik tahlil TGA/DSC1 (Mettler Toledo), rentgenfazaviy tahlil AL-27 mini diffraktometrida 28 sutkalik namunalarda bajarildi.

Statistik ishlov. Natijalar arifmetik o'rtacha (M), o'rtacha kvadratik chetlanish (σ) va variatsiya koeffitsienti (V) orqali qayta ishlandi. Har bir seriyada namunalar soni betonda kamida 3 ta, sement toshida kamida 6 ta bo'ldi; variatsiya koeffitsienti 5 % dan oshmadi.

Natijalar PESh ni mexanik faollashtirish. Zarbli-yedirilish rejimida 80 daqiqa maydalash PESh ning nisbiy sirt yuzasini 3511 sm²/g gacha oshirdi, zarrachalarning o'rtacha diametri esa 15,7 dan 5,8 mkm gacha kamaydi. Dastlabki 40 daqiqada №008 elakdagi qoldiq 68,5 dan 24,2 % gacha pasaydi, $S_{nis} \approx 3200$ sm²/g dan so'ng esa qoldiq ortib, zarrachalar agregatsiyasi boshlandi. Faollashtirilgan shlakni xona haroratida uch sutkadan ortiq saqlash namlik adsorbsiyasi tufayli faol markazlar sonini va sement toshi mustahkamligini kamaytirdi. Mayda donador betonning mustahkamligi $S_{nis} = 3000$ sm²/g va 25 % to'ldirishda maksimumga yetdi: 50,5 MPa (nazorat tarkibida 40 MPa, ya'ni 26 % ga yuqori). To'ldirish darajasi 25 % dan, dispersiya 3000 sm²/g dan oshganda mustahkamlik pasaydi. Keyingi tajribalarda shu parametrlar qabul qilindi.

Qo'shimchalar dozasining normal quyuqlik va qotish muddatiga ta'siri. PESh siz sement xamirida POLIMIX dozasini 0,2 dan 0,8 % gacha oshirish normal quyuqlikni 26 dan 18 % gacha kamaytirdi, biroq qotish boshlanishini 65 dan 165 daqiqagacha kechiktirdi (2-jadval). POLIMIXJBI esa 0,4 % dozadayoq normal quyuqlikni 18 % gacha tushirdi va qotish tugashini 360 dan 260 daqiqagacha qisqartirdi. Dozani 0,4 % dan oshirish normal quyuqlikka ta'sir qilmadi.

2-jadval. Qo'shimcha dozasining normal quyuqlik (NQ) va qotish muddatiga ta'siri (PESh siz)

Doza, %	NQ, % (POLIMIX)	NQ, % (POLIMIXJBI)	Qotish boshlanishi/tugashi, daq (POLIMIX)	Qotish boshlanishi/tugashi, daq (POLIMIXJBI)
0	26	26	65 / 360	65 / 360

Doza, %	NQ, % (POLIMIX)	NQ, % (POLIMIXJBI)	Qotish boshlanishi/tugashi, daq (POLIMIX)	Qotish boshlanishi/tugashi, daq (POLIMIXJBI)
0,2	23	21	110 / 370	105 / 280
0,4	22	18	130 / 370	135 / 260
0,8	18	18	165 / 390	175 / 260
1,2	18	18	175 / 390	185 / 240

PESh (S_{nis} = 3000 sm²/g, 25 %) kiritilganda puzzolan effekti tufayli qotish boshlanishi ikkala qo'shimchada ham kechikdi (3-jadval); POLIMIX li tarkibda qotishning tugashi sezilarli cho'zildi, POLIMIXJBI li tarkibda esa 260 daqiqada saqlanib qoldi. Normal quyuqlik ko'rsatkichlari 2-jadvaldagidek qoldi.

3-jadval. Qotish muddati, PESh (25 %) li tarkiblar

Doza, %	Qotish boshlanishi/tugashi, daq (POLIMIX)	Qotish boshlanishi/tugashi, daq (POLIMIXJBI)
0	140 / 390	140 / 390
0,4	180 / 415	180 / 260
0,8	190 / 420	190 / 260
1,2	195 / 420	195 / 260

Plastik mustahkamlik va mustahkamlik kinetikasi. Plastik mustahkamlik kinetikasi strukturalanishning koagulyatsion va kristallanish bosqichlarini ajratish imkonini beradi [11]. POLIMIX li tarkiblarda (PESh siz va PESh bilan) induksion davr nazorat tarkibiga nisbatan taxminan 160 dan 190 daqiqagacha cho'zildi. Polifunksional qo'shimcha esa bu davrni POLIMIX li tarkibga nisbatan 160 dan 60 daqiqagacha qisqartirdi. Sement toshining mustahkamligi POLIMIX ning 0,8 % dozasida 81 MPa, POLIMIXJBI ning 0,4 % dozasida 83 MPa ni tashkil etdi; PFQ ning dozasi 0,4 % dan oshganda qorishmaning qatlamlanishi tufayli mustahkamlik pasaydi. PFQ va PESh dan iborat kompleks modifikator dastlabki qotish davrida nazorat tarkibiga nisbatan mustahkamlikni 59–61 % ga, POLIMIX li tarkiblarga nisbatan 8–10 % ga oshirdi; 1 va 28 sutkalik yoshda ham eng yuqori ko'rsatkichlar shu tarkibda qayd etildi (sement toshi mustahkamligi 87 MPa gacha).

Gidratatsiya ekzotermiyasi. Faqat polikarboksilat superplastifikatori bo'lgan tarkibda gidratatsiyaning dastlabki bosqichi sekinlashdi, keyinchalik ishqoriy muhit ta'sirida u tezlashdi. PFQ va PESh li kompleks modifikator esa ekzotermiyaning maksimal haroratini nazorat tarkibiga nisbatan 4 °C ga oshirdi.

G'ovak suyuqlik pH i. 4-jadvaldan ko'rinadiki, 60 sutkagacha PS+PFQ+PESh tarkibida pH 12,62 ni tashkil etib, nazorat tarkibidan (12,71) 0,09 birlikka farq qildi. PESh siz PS+PESh tarkibida pH 30 sutkada 12,1 gacha pasaydi. KU li tarkiblarda

pasayish sezilarli bo'ldi: 60 sutkada PS+KU da 10,8, PS+PFQ+KU da 11,6 (armatura passivligi uchun kritik 11,8 dan past).

4-jadval. Sement toshi g'ovak suyuqligining pH qiymati

Tarkib	1 sutka	30 sutka	60 sutka
Nazorat	12,74	12,71	12,71
PS+KU (30 %)	12,42	11,98	10,80
PS+PESh (25 %)	12,65	12,10	12,10
PS+POLIMIX	12,74	12,71	12,71
PS+POLIMIXJBI	12,72	12,68	12,68
PS+POLIMIX+PESh	12,66	12,64	12,64
PS+POLIMIXJBI+PESh	12,66	12,62	12,62
PS+POLIMIXJBI+KU (30 %)	12,65	12,10	11,60

Termik va rentgenfazaviy tahlil. DSC/DTG termogrammalarida ~110 °C zonasidagi (g'ovaklardagi erkin suv) effekt nazorat tarkibida ~70 mVt, kompleks modifikatorli tarkibda ~60 mVt ni tashkil etdi, bu g'ovaklar hajmining kamayishini ko'rsatadi. 420–480 °C oralig'ida $Ca(OH)_2$ parchalanishining endotermik cho'qqisi qo'shimchali tarkiblarda nazoratga nisbatan kichrayib, eng kuchli pasayish KU li tarkibda kuzatildi. Minimal parchalanish harorati 653,91 °C (nazorat) dan 648,02 °C (qo'shimchali namunalar) gacha pasaydi. Rentgenfazaviy tahlilda $Ca(OH)_2$ ning miqdori nazorat namunasida ~29,3 %, PS+PFQ+PESh tarkibida ~23,7 % ni tashkil etdi; KU li tarkibda ettringit miqdori 5,8 dan 6,6 % gacha ortdi.

Muhokama Polikarboksilat superplastifikatorlarning sement tizimida qotishni kechiktirishi sement zarrachalari sirtining adsorbsion qatlam bilan qisman qoplanishi bilan izohlanadi [9, 10]; olingan natijalar (induksion davrning 160 dan 190 daqiqagacha cho'zilishi) shu tasavvurga mos keladi. Ammiakli suv saqlovchi POLIMIXJBI da induksion davr 60 daqiqagacha qisqargan, bu qo'shimchada qotishni tezlatuvchi komponent mavjudligi bilan bog'liq bo'lib, [8] da kompleks qo'shimchalar uchun ta'riflangan ta'sirga mos keladi. Shunday qilib, PFQ superplastifikatorning suvni kamaytirish effektini (normal quyuqlik 26 → 18 %) qotishni sekinlashtirmasdan ta'minlaydi, bu esa uni faqat tovar betonlar bilan cheklanmasdan, kam qizdiriladigan yig'ma buyumlarda qo'llash imkonini beradi.

Mexanik faollashtirilgan PESh ning kiritilishi qotish boshlanishini kechiktirgan bo'lsa-da (3-jadval), dastlabki yoshdagi mustahkamlik va ekzotermiya ko'rsatkichlarini yaxshiladi. Mikroto'ldirgichning bunday ta'siri sirt faol markazlari

soni va nukleatsiya joylarining ortishi bilan bog'liq deb hisoblanadi [4, 5]; ushbu ishda dispersiya optimumdan oshganda agregatsiya tufayli mustahkamlikning pasayishi bu tasavvurni tasdiqlaydi. DSC va rentgenfazaviy tahlil natijalariga ko'ra, kompleks modifikator $Ca(OH)_2$ miqdorini kamaytiradi, g'ovaklarning erkin suvini kamaytiradi va past asosli kalsiy gidrosilikatlari hosil bo'lishini ko'rsatadi, bu mustahkamlik o'sishining strukturaviy sababi bo'lishi mumkin.

Betonning ishonchliligi nuqtai nazaridan eng muhim natija — pH ning saqlanishi. Amorf SiO_2 saqlovchi qo'shimchalar portlanditni bog'lab, ishqoriylikni pasaytirishi mumkin [6, 7]. KU li tarkiblarda pH 60 sutkada 11,6 gacha (PFQ bilan) va 10,8 gacha (PFQ siz) tushdi, ya'ni armatura uchun qo'shimcha himoya choralari talab etiladi. PESh li kompleks modifikatorda esa pH 12,62 da saqlandi, bunda $Ca(OH)_2$ ning bir qismi bog'langani uchun mustahkamlik o'sishiga erishilgan, ishqoriy muhit esa buzilmagan. Bu PESh ning kam faol qo'shimcha sifatida KU ga nisbatan afzalligini ko'rsatadi, ammo uning PFQ siz tarkibda 30 sutkadan keyin 12,1 gacha pasayishi ham e'tiborga loyiq.

Tadqiqotning cheklovlari: tajribalar bitta turdagi portlandsement va bitta shlak manbasida, laboratoriya sharoitida o'tkazildi; ekzotermiya sement xamirida o'lchandi, shu sababli natijalarni beton buyumlarga ko'chirishda ishlab chiqarish sharoitida tekshirish zarur. Betonning uzoq muddatli chidamliligi (sovuqqa, korroziyaga, qisqarishga bardoshliligi) alohida tadqiqot mavzusi hisoblanadi.

Xulosa

PESh ni sharli tegirmonda zarbli-yedirilish rejimida maydalash S_{nis} = 3000 sm^2/g gacha va sement massasining 25 % miqdorida qo'llash ratsional; bunda mayda donador betonning mustahkamligi 40 dan 50,5 MPa gacha oshdi. Dispersiyaning 3200 sm^2/g dan ortishi agregatsiyaga olib keladi.

POLIMIXJBI polifunksional qo'shimchasining ratsional dozasi sement massasining 0,4 % ini tashkil etadi: normal quyuqlik 26 dan 18 % gacha kamayadi, qotish tugashi 360 dan 260 daqiqagacha qisqaradi, POLIMIX superplastifikatoridan farqli o'laroq qotish kechikmaydi.

PFQ va PESh dan iborat kompleks modifikator dastlabki yoshda mustahkamlikni nazoratga nisbatan 59–61 % ga oshiradi, ekzotermiya haroratini 4 °C ga ko'taradi va sement toshi mustahkamligini 87 MPa gacha yetkazadi.

Kompleks modifikator ishtirokida g'ovak suyuqlik pH i 60 sutkada 12,62 da saqlanadi (armatura uchun zarur chegara 11,8), kul uchqindisili tarkiblarda esa 11,6 gacha pasayadi.

Termik va rentgenfazaviy tahlil $Ca(OH)_2$ miqdori 29,3 dan 23,7 % gacha kamayishini va g'ovaklar erkin suvi kamayishini ko'rsatdi; bu mustahkamlikning ortishini strukturaviy jihatdan izohlaydi.

Taklif etilgan kompleks modifikatorni kam qizdiriladigan va qizdirilmaydigan beton texnologiyasida qo'llash maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ramachandran V.S. (red.) Dobavki v beton: Spravochnoe posobie. Moskva: Stroyizdat, 1988. 575 s.
2. Lukutsova N.P., Pykin A.A., Chudakova O.A. Modifitsirovanie melkozernistogo betona mikro- i nanorazmernymi chastitsami shungita i dioksida titana // Vestnik BGTU im. V.G. Shuxova. 2010. № 2. S. 66–70.
3. Adilxodjaev A.I., Kadyrov I.A., Umarov K.S. O vliyanii tseolitsoderzhashchego napolnitelya (natrolit) na svoystva tsementnogo vyazhushchego // Vestnik TashIIT. 2020. № 2. S. 20–27.
4. Turapov F.Kh. Use of heat insulation wall materials in construction // American Journal of Technology and Applied Sciences. – 2022. – Vol. 5. – P. 27–30.
5. Миронов С.А. Теория и методы зимнего бетонирования / С.А. Миронов // – М.: Стройиздат. –1975. –700 с.
6. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов / Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, В.В. Тимашев // –М.: Высшая школа. – 1980. – 472 с.
7. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский – М.: Стройиздат. –1986. – 464 с.
8. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов – М.: Стройиздат, 1987. – 415 с.
9. Plank, J. Experimental determination of the effective anionic charge density of polycarboxylate superplasticizers in cement pore solution / J. Plank, B. Sachsenhauser // Cement and Concrete Research. –2009. –№ 39. – Pp. 1-5.
10. Pourchet, S. Influence of PC superplasticizers on C3S hydration / S. Pourchet, C. Comparet, L. Nicoleau, et al. // in: 12th International Conference on the Chemistry of Cements, Montreal (Canada). – 2007.
11. Turapov F.Kh. Study of the physical-mechanical properties of foam-concrete // American Journal of Research in Humanities and Social Sciences. – 2023. – Vol. 14. – P. 26–30.
12. Turapov F., Abdumuminov O., Abduraximov A. Determination of technological parameters of peno-concrete based on local materials // AIP

Conference Proceedings. – 2025. – Vol. 3268. – 030003. – DOI: 10.1063/5.0260006.