



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫ ЖӘНЕ БҰЙЫМДАРЫ
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

DOI 10.51885/1561-4212_2025_2_201
MFTAA 67.09.43

Д.Н. Галымжанова¹, А.Ж. Тілекқабыл², М.Ж. Ескалиев¹,
Н.А. Сактаганова³, А.У. Жапахова³

¹«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ,
Орал қ., Қазақстан

E-mail: diko_96@bk.ru*

E-mail: eskaliev-1991@mail.ru

²ХББК Қазақ бас сәулет-құрылыс академиясы, Алматы қ., Қазақстан

E-mail: kanbabina@mail.ru

³Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

E-mail: amanovna.75@mail.ru

E-mail: zhapakhova@mail.ru

ӨЗДІГІНЕН НЫҒЫЗДАЛАТЫН БЕТОННЫҢ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ТАБИҒИ ЦЕОЛИТТЕРДІҢ ӘСЕРІ

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ЦЕОЛИТОВ КАК НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

EFFECT OF NATURAL ZEOLITES ON THE PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE

Аңдатпа. Мақалада Қазақстанның жергілікті шикізаттарын, атап айтқанда табиғи цеолиттер мен тас ұнтағын өздігінен нығыздалатын бетондар (ӨНБ) үшін минералды толтырғыш ретінде қолданудың тиімділігі зерттелген. Зерттеу Алматы маңындағы Чанканай кен орнынан алынған цеолит және Балтабай-1 кен орнынан алынған тау жыныстарының қиыршықтары негізінде жүргізілді. Эксперименттер бетон қоспаларының реологиялық және беріктік қасиеттеріне түрлі минералды қоспалардың әсерін анықтауға бағытталды. Нәтижелер көрсеткендей, цеолиттің 7%-ға дейінгі мөлшерін қосу бетонның беріктігін 80 %-ға арттырып, оның ағындылық қасиеттеріне теріс әсер етпей, су бөлінуін болдырмады.

Сонымен қатар, тас ұнтағы мен цеолиттің үйлесімді қолданылуы бетонның беріктігін 70 МПа дейін арттырды, бұл өздігінен нығыздалатын бетондарға қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді. Бұл зерттеу Қазақстандағы жергілікті минералды ресурстарды пайдалану арқылы экологиялық және экономикалық тұрғыдан тиімді, жоғары сапалы өздігінен нығыздалатын бетондардың өндірісін дамыту мүмкіндігін көрсетеді. Зерттеу барысында бетон қоспаларының әртүрлі минералды толтырғыштармен оңтайлы пропорциялары анықталып, олардың тұтқырлық пен ағындылық қасиеттерін реттеу арқылы бетонның сапасы артты. Бұл өздігінен нығыздалатын бетондардың құрылыс саласындағы тиімділігін арттырып, қолжетімділігі мен экологиялық тиімділігін күшейтуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, зерттеу барысында алынған деректер Қазақстандағы жергілікті шикізаттарды қолдану арқылы құрылыс материалдарының сапасын жақсартуға ықпал ететін жаңа әдістерді енгізуге жол ашады. Осылайша, жаңа технологияларды енгізу құрылыс индустриясын жаңарту мен оның тұрақтылығын арттыруға ықпал етеді. Болашақта бұл қоспалардың басқа бетон түрлеріне әсері зерттеліп, құрылыс саласында кеңінен қолданылуы күтілуде.

Түйін сөздер: табиғи цеолит, тас ұнтағы, өздігінен нығыздалатын бетон, минералды қоспалар, беріктік, реологиялық қасиеттер, қоспалардың мөлшері.

Аннотация. В статье исследована эффективность использования местных сырьевых материалов Казахстана, а именно природных цеолитов и каменной муки, в качестве минеральных наполнителей для самоуплотняющихся бетонов (СУБ). Исследование проводилось на основе цеолита, добытого на месторождении Чанканай в окрестностях Алматы, и гравия, полученного на месторождении Балтабай-1. Эксперименты были направлены на определение влияния различных минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики бетонных смесей. Результаты показали, что добавление до 7% цеолита увеличивает прочность бетона на 80 %, не оказывая негативного воздействия на его текучие свойства и предотвращая выделение воды.

Кроме того, совместное использование каменной муки и цеолита повысило прочность бетона до 70 МПа, что полностью соответствует требованиям к самоуплотняющимся бетонам. Это исследование демонстрирует возможность разработки экологически и экономически эффективных высококачественных самоуплотняющихся бетонов с использованием местных минералов Казахстана. В ходе исследования были определены оптимальные пропорции различных минеральных наполнителей, что позволило эффективно регулировать вязкость и текучесть бетона. Это повышает эффективность самоуплотняющихся бетонов в строительстве, улучшая их доступность и экологическую эффективность. Кроме того, полученные данные открывают новые методы улучшения качества строительных материалов с использованием местных сырьевых ресурсов Казахстана. В дальнейшем планируется изучение влияния этих добавок на другие типы бетонов, что обеспечит их широкое применение в строительной отрасли.

Ключевые слова: природный цеолит, каменная мука, самоуплотняющийся бетон, минеральные добавки, прочность, реологические свойства, дозировка добавок.

Abstract. This article investigates the effectiveness of using local raw materials from Kazakhstan, namely natural zeolites and stone powder, as mineral fillers for self-compacting concretes (SCC). The study was based on zeolite obtained from the Chankanai deposit near Almaty and gravel from the Baltabay-1 deposit. The experiments aimed to determine the impact of various mineral additives on the rheological and strength properties of concrete mixtures. The results showed that adding up to 7% zeolite increased the strength of concrete by 80%, without negatively affecting its flow properties and preventing water separation.

Furthermore, the combined use of stone powder and zeolite increased the concrete strength to 70 MPa, fully meeting the requirements for self-compacting concretes. This research demonstrates the potential for developing environmentally and economically efficient, high-quality self-compacting concretes using Kazakhstan's local minerals. The study identified the optimal proportions of different mineral fillers, which effectively controlled the viscosity and flowability of the concrete. This enhances the performance of self-compacting concretes in construction, improving their accessibility and environmental efficiency. Additionally, the findings open new ways to enhance the quality of building materials using Kazakhstan's local raw materials. Further research is planned to investigate the effects of these additives on other types of concrete, which will ensure their widespread use in the construction industry.

Keywords: natural zeolite, stone dust, self-compacting concrete, mineral additives, strength, rheological properties, additive dosage.

Кіріспе. Өздігінен нығыздалатын бетон (ӨНБ) – бұл қосымша сыртқы нығыздаушы энергияның әсерінсіз, тек өз салмағының әсерінен ағып, ішіндегі ауадан босап, арматура торлары мен қалып арасындағы кеңістікті толығымен толтыратын бетон. Өздігінен нығыздалатын бетонда вибрациялық бетон сияқты қалдық пор көлемі болуы мүмкін (DAFSTB-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie), 2003). Алайда қазіргі уақытқа дейін мұндай бетондардың ерте мерзімдерде қалыптан шығу беріктігін қамтамасыз ету мәселесі өзектілігін сақтап отыр, әсіресе зауыттық технологиялар үшін. ӨНБ-нің ұзақ уақыт бойы қатаюы ТВО қолданбай, қалыптардың айналым мерзімдерін ұлғайтады және тіпті кәсіпорынның орташа қуаттылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік бермейді (Zhiwei Qian, 2017). (Bolotskih O.N., 2008) мақалада өздігінен нығыздалатын бетон қоспалары мен бетонының негізгі қасиеттері зерттеліп, ӨНБ диагностикасы үшін қолданылатын негізгі жабдықтар көрсетілген. Поликарбонат негізіндегі қоспалар туралы ақпарат, оларды өздігінен нығыздалатын бетон қоспаларын өндіруде қолдану, сондай-ақ поликарбонаттардың химиялық қасиеттері, бетон қоспасына әсері, қоспаларды қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктері, сондай-ақ құрылыс саласында қолдану перспективасы (Vovk A.I., 2012) мақалаларында қарастырылған. (Barabanshchikov Yu.G., 2014) мақаласында C-3 суперпластификаторын құйма бетон

қоспалары үшін қолдану туралы ақпарат берілген. Ал (Okamura H., 2003) мақалаларында Жапония, Еуропа және Ресейдің құрылыс алаңдарында өздігінен нығыздалатын бетонды қолдану мысалдары көрсетілген.

Ұсақ дисперсті минералды компоненттерді қолданудың тиімділігі жоғары байланыс-қыштық қасиеті бар өздігінен нығыздалатын бетонда цементтің бір бөлігін ауыстыру мүмкіндігімен анықталады, бұл бетон қоспаларының тұрақтылығын төмендетеді (Urban M., 2018) және кәдімгі бетонмен салыстырғанда экономикалық тиімділікті қамтамасыз етеді. Осыған байланысты төмен цементті құрамды ӨНБ (SCC with low-cement) болашақ зерттеулердің маңызды міндеттерінің бірі болып табылады. Минералды толтырғыштарды цементтің бір бөлігін ауыстыру үшін қолдану, талап етілетін қасиеттерге қол жеткізу ғана емес, экономикалық тұрғыдан тиімді болумен қатар, экологиялық мәселелерді шешуде де маңызды: энергия тұтыну мен жылыну газдардың (CO₂) атмосфераға шығарылуын азайтуға ықпал етеді (Derepko S.N., 2015).

(Leung H.Y., 2016) зерттеуінде ұшқыш күл мен кремний диоксидінің буы бар өздігінен нығыздалатын бетонның сорбциялық қабілеті зерттелген. Тестілеу нәтижелері ұшқыш күл мен кремнезем буының болуы бетонның беткі су сіңірімділігін су мен байланыстырғыштың қатынасы 0,38 кезінде айтарлықтай төмендететінін көрсетеді. Ұшқыш күл мен кремнезем буын қосу жалпы алғанда 28 күнде бетон кубының беріктігін арттырады. Дегенмен, қысу беріктігі мен қол жеткізілген сорбциялық қабілет арасында ӨНБ-де корреляция жоқ. Басқа зерттеуде (Wang H.Y., 2013) өздігінен нығыздалатын жоғары шлакобетонның жаңа және инженерлік қасиеттері зерттелген. Бұл зерттеуде су-цемент қатынасы 0,37 тұрақты болған жағдайда, цементтің бір бөлігі 0 %, 15 % және 30 % арақатынасымен пеш шлағы мен ауыстырылған өздігінен нығыздалатын бетонның қасиеттері зерттелген. Жаңа және әртүрлі инженерлік қасиеттер талқыланды. Нәтижелер пеш шлағының портландцементпен ауыстыру коэффициентіне байланысты шөгінді ағыны өзгергенін көрсетті. 15 %-дық пеш шлағымен алынған үлгінің шөгінді ағыны жобалық мәні 550-700 мм аралығында болды. 15 %-дық пеш шлағы ауыстырылған үлгінің қысу беріктігі бақылау тобынан жоғары болды. Қосылған шлак мөлшері артқан сайын кебу ұлғайды. (Fan T.V., 2013) зерттеуінде микрокремнеземмен бірге ӨНБ құрамында күріш қабығын жағу күлін қолдану тәжірибесі белгілі. Олардың ӨНБ құрамына енгізілуі бетонның қысу беріктігінің шегін 70 %-ға, бетонның икемділік модулін 15 %-ға арттырады, бетонның жылжу өлшемі тең күшті бетонға қарағанда 0,44-тен 1,19-ға дейін артады, тартылу бойынша кебу шөгуін 30 %-ға дейін азайтады, бұл темірбетонның ерте жарықшаққа төзімділігіне оң әсер етеді, бірақ кебу кезінде шөуге practically әсер етпейді.

Қазіргі зерттеулер негізінен цеолиттің және басқа минералды толтырғыштардың бетонның жеке қасиеттеріне әсерін зерттеуге бағытталған: не беріктіктің артуы, не қоспаның ағып кету қасиетінің жақсаруы. Дегенмен, цеолиттің цементті матрица мен қоспаның реологиялық қасиеттерімен өзара әрекеттесуіне әсерін зерттейтін кешенді зерттеу әлі жеткіліксіз жүргізілген. Сондай-ақ, цеолиттің әртүрлі пропорциялармен енгізілуі бастапқы қатайту кезеңінде жеткілікті беріктікке қол жеткізіп, қоспаның қозғалғыштығының нашарлауын болдырмауға қалай әсер ететіні анық емес. Осыған байланысты, жергілікті минералды ресурстарды пайдалану кезінде беріктік пен реологиялық қасиеттер арасындағы теңгерімді қамтамасыз ететін, цеолит қосылған ӨНБ-нің оптималды құрамын әзірлеу міндеті өзекті болып қалуда.

Қойылған мәселе негізінде, осы зерттеуде табиғи цеолиттер мен суперпластификаторды белгілі бір концентрацияда өздігінен нығыздалатын бетондарына қосу арқылы бастапқы беріктік пен қоспаның реологиялық қасиеттері арасындағы оңтайлы теңгерімге жетуге болатыны туралы гипотеза зерттеледі.

Бұл зерттеудің мақсаты – табиғи цеолиттер мен тас ұнтағының өздігінен нығыздалатын бетондардың реологиялық және беріктік сипаттамаларына әсерін зерттеу. Зерттеу цеолит пен тас ұнтағын енгізудің оңтайлы пропорцияларын бағалауға бағытталған, бұл қоспаның беріктік сипаттамаларын нашарлатпай, қажетті ағындылықты қамтамасыз етеді. Жүргізілген эксперименттерге сәйкес, цеолитті 7 %-ға дейін енгізу бетонның беріктігін 80 %-ға арттырып, 7 күн қатайғаннан кейін 71 МПа дейінгі көрсеткіштерге жетуге мүмкіндік береді. Осы кезде төгілу қабілеті 710 мм және V-тәрізді воронка арқылы өту уақыты 12,5 секундты құрайды, бұл өздігінен нығыздалатын бетондарға қойылатын талаптарға сәйкес келеді.

Осылайша, зерттеу жергілікті минералды ресурстарды пайдалану есебінен жақсартылған эксплуатациялық сипаттамалары бар өздігінен нығыздалатын бетон құрамдарын әзірлеуге бағытталған. Бұл зерттеуде цеолиттердің, өздерінің пористық құрылымы мен пучцоландық қасиеттері арқасында, бетон қоспасының ағып кету қасиеттерін нашарлатпай, тез қатайуына ықпал ететіні болжанады. Бұл оларды құрылыс саласында ерте жүктемелер кезінде қолдануға перспективалы етеді.

Материалдар және зерттеу әдістері. М500 маркалы өздігінен нығыздалатын жылдам қатаятын бетонның негізгі құрамын анықтау үшін цемент шығынын барынша азайтуға және әртүрлі толтырғыштар мен функционалдық қоспаларды қолдануға бағытталған есептеу және эксперименттік әдіс қолданылды. Есептеулер Х. Окамура әдістемесі бойынша өздігінен нығыздалатын бетон қоспасының құрамын таңдау әдісі негізінде жүргізілді (Rings K.-H., 2002). Негізгі байланыстырғыш зат ретінде «Бұқтырма цемент компаниясы» ЖШС-нің (В30-35 бетоны үшін) ПЦ 500 Д0 қолданылды. ПЦ 500-Д0 маркалы портландцементтің негізгі физикалық-механикалық қасиеттері, «Бұқтырма цемент компаниясы» ЖШС-нің жеткізушілерінің техникалық паспорттарында көрсетілгендей, өзгеріссіз төменде 1-кестеде көрсетілген.

1-кесте. ПЦ 500-Д0 маркалы портландцементтің негізгі физикалық-механикалық қасиеттері, «Бұқтырма цемент компаниясы» ЖШС

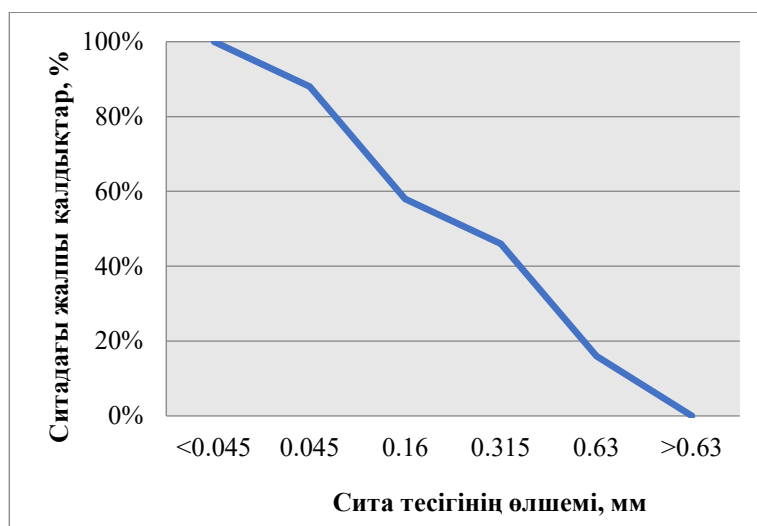
Көрсеткіштің атауы, өлшем бірліктері	Мағынасы	
	ГОСТ 10178-85 талаптары	Іс жүзінде
Ұнтақтау дәрежесі № 008 ситадағы қалдық бойынша, %	15 артық емес	7,8
Тығыздық, г/см ³	Нормаланбайды	3,08
Көлемдік тығыздық, кг/м ³	Нормаланбайды	1021
Қалыпты қалыңдық, %	Нормаланбайды	26,5
Қатаю уақыты, сағ-мин		
Бастау	45 минуттан ерте емес	2-50
Аяқтау	10 сағаттан кеш емес	3-30
Көлемнің өзгеруінің бірқалыптылығы	Төзімді болуы керек	Төзеді
28 күннен кейінгі беріктік шегі, МПа	49,0-ден кем емес	49,8
қысу кезінде	5,9-дан кем емес	6,5
иілу кезінде		

Ескерту – «Бұқтырма цемент компаниясы» ЖШС-нің негізінде құрастырылған

Минералды толтырғыш ретінде Алматы қаласына жақын орналасқан Чанканай кен орнынан алынған табиғи цеолит қолданылды. Қолданар алдында цеолит қажетті фракцияға дейін ұнтақталды (Golokhvast K.S., 2010). Төменде 1-суретте цеолиттің фракциялық құрамы диаграммасы берілген. Төмендегі 2-кестеде Чанканай кен орнынан алынған цеолиттің сипаттамасы көрсетілген. Табиғи цеолиттің толтырғышының фракциялық құрамы мен сипаттамасы (Оразымбетова А., 2024) мақаласынан алынған.

2-кесте. Чанканай кен орнынан алынған цеолиттің сипаттамасы

Көлемдік тығыздық, г/см						2,2	
Нағыз кеуектілік, %						12,60	
Моос шкаласы бойынша қаттылық						4	
Минералогиялық құрамы, %							
Клиптилолит			Плагиоклаз	Кварц	Магнетит	Анатаз	
60			27	6	6	1	
Химиялық құрамы, %							
SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	K ₂ O	қыздыру кезінде жоғалтулар
57,86	5,06	2,32	5,48	2,38	15,03	1,67	8,86
Ескерту – (Оразымбетова А., 2024) негізінде құрастырылған							



1-сурет. Табиғи цеолиттен алынған толтырғыштың фракциялық құрамы

Ескерту – автормен құрастырылған

Басқа минералды толтырғыш ретінде Балтабай-1 кен орнынан алынған тау жыныстарының қиыршықтарын ұнтақтау арқылы алынған ұнтақтар қолданылды. Ұнтақтаудан кейін оның меншікті беті ПСХ-9 құралы арқылы анықталды. Тастар ұнтағы дайындалу үшін келесі тау жыныстары қолданылды: карьердегі басым тау жыныстары эффузивті тау жыныстары мен жарылған интрузивті тау жыныстары болып табылады. Эффузивті жыныстар гидротермальды-метасоматикалық өзгерістерге ұшыраған орта негізді порфириттер мен кварц-полевошпаттық құрамды кристалданған порфирлермен ұсынылған; интрузивті жыныстар граниттер мен кварцті диориттің аралас жыныстары

болып табылады (Kuneski P., 2018). Толтырғыш – 5-10 фракциялы ұсақ тас пен 2,5-5 фракциялы құм да Балтабай-1 карьері қиыршығының өндіріс қалдықтарынан алынған.

(Kolesnikova I.V., 2021) мақаласында СП мен ГП-ның әртүрлі түрлері мен дозаларының су азайтатын әсерін және олардың бетон қоспасының еруі мен өміршеңдігіне әсерін анықтау үшін тәжірибелер жүргізілді. Бетон қоспасын қатайту процесін жылдамдату үшін Master Glenium 977 суперпластикаторы қолданылды.

Өздігінен тығыздалатын бетон қоспасы НИКЦИМ – Точмашприбор АЛС-5 автоматты араластырғышының көмегімен дайындалды, ол араластырғыш цементті үлгі-балочкаларды ГОСТ 30744 талаптарына сәйкес дайындауға арналған.

Реологиялық қасиеттерін анықтау үшін бетон қоспасы екі әдіспен зерттелді: Хегерманн конусы арқылы қоспаның ағып кетуін өлшеу және қоспаның V пішінді воронка арқылы ағып шығу уақытын анықтау. Циолиттің өздігінен тығыздалатын бетонның реологиялық қасиеттеріне әсерін микрокремнеземмен салыстырғанда бағалау үшін минералды қоспалар цемент массасының 3...20 % мөлшерінде енгізілді. Бетон қоспасының ағып кетуі тұрақты су-цемент қатынасында (С/Ц) Хегерманн конусы және V пішінді воронка арқылы ағып шығу уақытын өлшеу арқылы анықталды (Bolotskikh O.N., 2009).

Бетонның беріктігін бақылау және бағалау ережелері (ГОСТ 18105-2018) құжатында белгіленген. Өздігінен тығыздалатын бетонның беріктігі қысу кезінде 7 күннен кейін 40×40×160 мм өлшеміндегі балочкаларда «Technotest» маркалы KD 300/R пресінде 3000 кН жүктемелі күшпен анықталды («Technotest S.R.L. Materials Testing Equipment» компаниясының техникалық құжаттамасы). 2-суретте «Technotest» маркалы KD 300/R пресінде өздігінен тығыздалатын бетонның беріктігін анықтау көрсетілген.



2-сурет. «Technotest» KD 300/R пресінде өздігінен тығыздалатын бетонның қысу беріктігін анықтау

Ескерту – автормен құрастырылған

Нәтижелері және оларды талқылау. Қиыршық тасты ұсақтау кезінде алынған тас

ұнтағын минералды толтырғыш ретінде бетон қоспаларында қолдану оның реологиялық белсенділігі қажетті жайылу сипаттамаларына қол жеткізуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Алайда, бұл жағдайда қоспаның біртектілігі төмендейді, су бөлінуі байқалады, сондай-ақ бетон қоспасының тұтқырлық көрсеткіштері талаптарға сәйкес келмейді. Төменде 3-суретте қиыршық тасты ұсақтау өнімдерінен алынған тас ұнтағы қосылған бетон қоспасындағы су бөлінуі көрсетілген.



3-сурет. Қиыршық тасты ұсақтау өнімдерінен алынған тас ұнтағы қосылған бетон қоспасындағы су бөлінуі

Ескерту – автормен құрастырылған

Цеолитті қосу бетон қоспасының тұтқырлығын оңтайлы деңгейге дейін жоғарылатып, су бөлінуінің алдын алды және оның жоғары беріктік қасиеттерін қамтамасыз етті. Осылайша, 15 % тас ұнтағы мен 7 % цеолит қолданылған жағдайда, бетон қалыпты жағдайда 7 тәулік қатайғаннан кейін 70 МПа беріктік көрсеткіштеріне қол жеткізді. Төменде цеолит пен тас ұнтағының үйлесімді әсерінің нәтижесі 3-кесте түрінде көрсетілген.

3-кесте. Цеолит пен тас ұнтағының цемент массасының 15 %-ы мөлшерінде өздігінен нығыздалатын бетонның реологиялық және беріктік қасиеттеріне әсері

№	Цемент, кг	Цеолит, % цемент массасынан	Қ:Щ	С/Ц	Жайылу, см	Су бөлінуі	V-тәрізді воронкадан ағу уақыты, сек	7 тәуліктегі беріктік, МПа
1	600	0	1:0,8	0,3	52	жоқ	9	60
2	492	3			66	жоқ	11,5	67
3	480	5			68	жоқ	12	69
4	468	7			71	жоқ	12,5	71
5	450	10			жоқ	нет	13	67

Ескерту – автормен құрастырылған

Толтырғыш қосылған ерітіндінің жайылуын өлшеу нәтижелері цеолиттің қоспаның

қозғалғыштығын жақсартатынын көрсетті. Осылайша, 3 % цеолит қосылған кезде ерітіндінің жайылуы 27 см болды, бұл микрокремнезем үшін алынған 27 см нәтижеге ұқсас. Цеолиттің мөлшері 9 %-ға дейін артқан кезде ерітіндінің жайылуы 29 см-ге дейін ұлғаятыны байқалады, бұл осы минералдың жоғары реологиялық белсенділігін дәлелдейді. Салыстыру үшін, микрокремнеземнің мөлшері 9 %-ға дейін артқан кезде қоспаның қозғалғыштығы 22,5 см-ге дейін төмендеді. Бұл деректер (Fan T.V., 2013) зерттеуінің нәтижелерімен сәйкес келеді, онда ұқсас қоспалар аз мөлшерде енгізілген кезде ағымдылықтың жақсарғанын көрсетті. Төмендегі 4-суретте бетон қоспасына жүргізілген Хегерман конусы сынағының нәтижелері көрсетілген.



4-сурет. Хегерман конусы сынағының нәтижесі

Ескерту – автормен құрастырылған

Алайда, жоғарырақ дозалар (15-20 %) енгізілген кезде қоспаның қозғалғыштығы айтарлықтай төмендейді және оның жайылмау қабілеті байқалады, бұл минералдардың артық мөлшері кезінде тұтқырлықтың жеткіліксіз тұрақтылығын көрсетеді. Бұл төмендеу су-цемент қатынасының (С/Ц) азаюымен байланысты болуы мүмкін, бұл цементтің гидратациясының нашарлауына және оның беріктік сипаттамаларының төмендеуіне әкеледі. Төмендегі 4-кестеде $C/Ц = 0,3$ болғандағы өздігінен нығыздалатын бетон қоспасының реологиялық қасиеттерінің нәтижелері көрсетілген.

4-кесте. Өздігінен нығыздалатын бетон қоспасының реологиялық қасиеттері ($C/Ц = 0,3$)

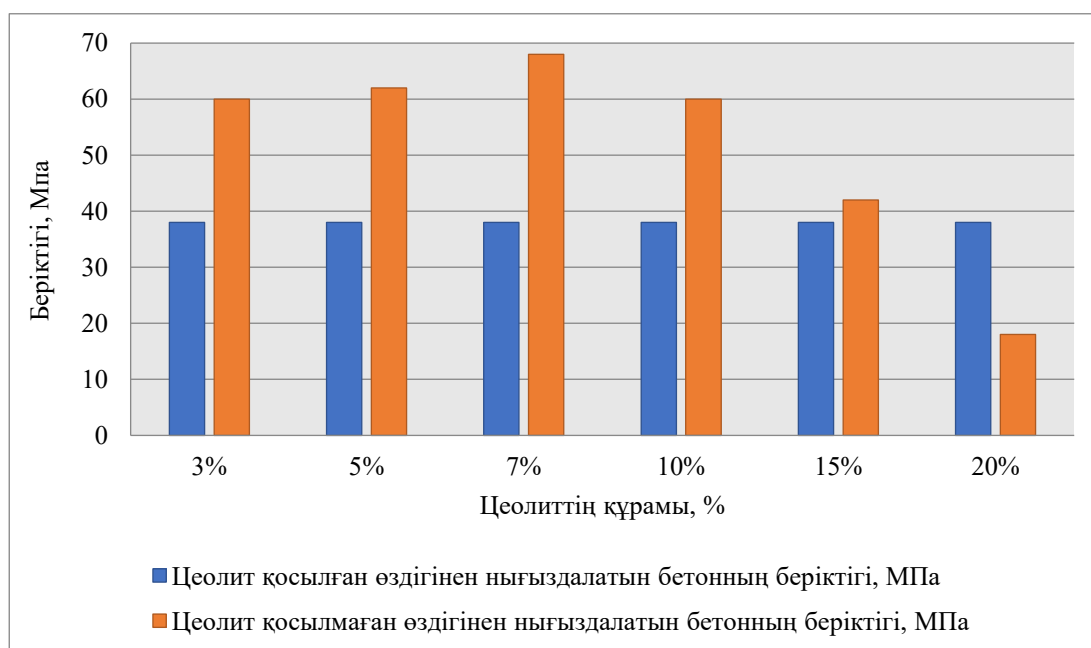
№	Енгізілген толтырғыштың мөлшері, цемент массасына шаққандағы %	Толтырғыш енгізілген кездегі ерітіндінің жайылуы, см		Толтырғыш енгізілген кездегі V-тәрізді воронка арқылы ағу уақыты, сек.	
		цеолит	микрокремнезем	цеолит	микрокремнезем
1	3	27	27	8	7
2	5	26,5	26	9	8
3	7	27	25,5	9,5	10
4	9	29	22,5	10	12

4-кестенің соңы

№	Енгізілген толтырғыштың мөлшері, цемент массасына шаққандағы %	Толтырғыш енгізілген кездегі ерітіндінің жайылуы, см		Толтырғыш енгізілген кездегі V-тәрізді воронка арқылы ағу уақыты, сек.	
		цеолит	микрокремнезем	цеолит	микрокремнезем
5	15	24	17	11	15
6	17	20	Жайылмайтын*	12	-
7	20	Жайылмайтын *	Жайылмайтын*	-	-

Ескерту – автормен құрастырылған

Микрокремнеземнің беріктікке оң әсері (Fan T.V., 2013) зерттеуінде атап өтілгендей, цеолит қосылған кезде бұл әсер қатудың бастапқы сатыларында күштірек байқалды. Атап айтқанда, 7 % цеолит қосылған кезде үлгілердің беріктігі 80 %-ға артты, ал микрокремнеземнің 15 %-ға дейін қосылуындағы ең жоғары өсім небәрі 15-20 % болды. Төмендегі 5-суретте үлгілердің қысуға беріктігін сынау нәтижелері көрсетілген.



5-сурет. Тұрақты C/Ц = 0,3 кезіндегі өздігінен нығыздалатын бетонның беріктік қасиеттерінің нәтижелері

Ескерту – автормен құрастырылған

7 % цеолит қосылған өздігінен нығыздалатын бетонның (ӨНБ) беріктік қасиеттеріне цеолиттің әсерін зерттеу нәтижелері көрсеткендей, қысуға беріктіктің ең жоғары өсуі 7 тәулік қалыпты қатаю кезінде 80% құрады. Бұл нәтижелерді басқа авторлардың зерттеулерімен салыстыруға болады.

Мысалы, (Urban M., 2018) зерттеуінде цементтің бір бөлігін минералды компоненттермен алмастыру мүмкіндігі қарастырылып, мұндай қоспаларды қолдану беріктік сипаттамаларын жақсартуға ықпал ететіні, сондай-ақ экономикалық тиімділік пен экологиялық аспектілерге оң әсер ететіні көрсетілген. Алайда, минералды толтырғыштарды, соның ішінде ұшпа күл мен кремнеземді қосудың оң әсеріне қарамастан, өздігінен нығыздалатын бетонда қысуға беріктік пен сорбциялық қабілеттің арасында

корреляция байқалмайды. Бұл менің нәтижелеріммен сәйкес келеді, онда 7% цеолит қосылған кезде қысуға беріктіктің ең жоғары өсуі байқалғаны анықталды, бұл оның беріктік қасиеттеріне айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді.

(Derepko S. N., 2015) зерттеуінде ұшпа күл мен кремний диоксидінің буын камтитын өздігінен нығыздалатын бетонның сорбциялық қабілеті зерттелді. Нәтижелер ұшпа күл мен кремнеземді қосу бетонның су сіңіруін айтарлықтай төмендетіп, қысуға беріктігін арттыратынын көрсетті. Бұл сондай-ақ менің зерттеу нәтижелеріммен сәйкес келеді, онда 7 % цеолит қосылған кезде бетонның беріктігінің жақсаруы байқалды. Алайда, (Derepko S.N., 2015).зерттеуінде су сіңіруді төмендететін қоспалар қолданылғанымен, менің жағдайымда цеолиттің беріктік сипаттамаларына әсері айқынырақ байқалды.

Сонымен қатар, (Wang H.Y., 2013) зерттеуінде өздігінен нығыздалатын бетонның құрамына пеш шлағын қосу әсері қарастырылды. Шлактың беріктік қасиеттеріне әсері қысуға беріктіктің жоғарылауына әкелгенімен, менің зерттеуімдегідей, мұндай өзгерістер шөгу мен ағымдылық сияқты басқа сипаттамалардың өзгеруімен қатар жүрді. (Wang H.Y., 2013) зерттеуінен айырмашылығы, онда шлак қосылған кезде беріктіктің өзгерісі аз болған, менің зерттеуімде 7 % цеолит қосу айтарлықтай әсер беріп, беріктіктің 80 %-ға өсуіне әкелді.

Осылайша, менің зерттеуімнің нәтижелері цеолит сияқты минералдарды қосу өздігінен нығыздалатын бетонның беріктік қасиеттерін жақсартуда тиімді екенін дәлелдейді. Цеолит қосу кезінде алынған әсер ұшпа күл немесе пеш шлағы сияқты басқа минералдармен жүргізілген ұқсас зерттеулердің нәтижелерінен асып түседі, бұл цеолитті өздігінен нығыздалатын бетон құрамында қолданудың перспективалы екенін көрсетеді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу барысында табиғи цеолиттер мен тас ұнының өздігінен нығыздалатын бетондардың (ӨНБ) реологиялық және беріктік қасиеттеріне әсері зерттелді. Эксперимент нәтижелері цеолитті 7 %-ға дейін қосу бетонның беріктігін айтарлықтай арттырып, оны 80 %-ға ұлғайтуға мүмкіндік беретінін және 7 тәулік қатаюдан кейін 71 МПа-ға дейін жететінін көрсетті. Сондай-ақ, қоспаның жайылу көрсеткіші талапқа сай 710 мм деңгейінде қамтамасыз етілді, ал V-тәрізді воронкадан өту уақыты 12,5 секундты құрады, бұл өздігінен нығыздалатын бетондарға қойылатын стандарттарға сәйкес келеді.

Зерттеу нәтижесінде табиғи цеолиттерді өздігінен нығыздалатын бетонның беріктік қасиеттерін жақсарту үшін олардың реологиялық қасиеттерін нашарлатпай қолдануға болатыны расталды. Бетонның жоғары беріктігі мен қозғалғыштығын қамтамасыз ететін қоспаның оңтайлы құрамы анықталды. Алынған деректер табиғи минералдар қоспасы қосылған жоғары тиімді бетондарының әрі қарай дамуына негіз бола алады.

Әдебиеттер тізімі

- DAFSTB-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie). (2003). Ausgabe November 2003.
- Qian Z., Ye G., Schlangen E., van Breugel K. (2017). Influence of cement mineralogical composition on mechanical properties of cement paste. Delft University of Technology, Netherlands.
- Болотских О.Н. (2008). Самоуплотняющийся бетон и его диагностика. Технология бетона, № 10, 28–31. // Bolotskikh O.N. Samouplotnyayushchiysya beton i ego diagnostika.
- Вовк А.И. (2012). Добавки на основе отечественных поликарбосилатов. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 9, 31–33. // Vovk A.I. Dobavki na osnove otechestvennykh polikarboksilatov.
- Barabanshchikov Yu.G., Komarinskiy M.V. (2014). Effect of superplasticizer S-3 on technological properties of concrete mixtures. Advanced Materials Research, 941–944, 780–785. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.780>
- Okamura H., Ouchi M. (2003). Self-compacting concrete. Advanced Concrete Technology, 1, 5–15.
- Urban M. (2018). Low-cement-content SCC (Eco-SCC) – an alternative to traditional ready-mix concrete. MATEC Web of Conferences, 163, 01004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816301004>

- Дерепко С.Н., Никифорова И.А. (2015). Модель комплексной оценки эффективности внедрения золошлаковых отходов угольной промышленности. Байкальский исследовательский журнал, № 6, 7–17. // Derepko S.N., Nikiforova I.A. Model kompleksnoy otsenki effektivnosti vnedreniya zoloshlakovykh otkhodov ugolnoy promyshlennosti.
- Leung H.Y., Kim J., Nadeem A., Jaganathan J., Anwar M.P. (2016). Sorptivity of self-compacting concrete containing fly ash and GGBS. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.071>
- Wang H.Y., Lin C.C. (2013). Study on the fresh and hardened properties of self-compacting high slag concrete. Construction and Building Materials, 42, 132–136. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.020>
- Фан Т.В. (2013). Самоуплотняющийся высокопрочный бетон с золой рисовой шелухи и метакатионом. Ростовский государственный строительный университет. // Fan T.V. Samouplotnyayushchiysya vysokoprochnyy beton s zoloy risovoy shelukhi i metakaolinom.
- Rings K.-H., Kolczyk H., Losch P. (2002). SCC: Limitations in concrete composition. Beton, 4, 192–196.
- Голохваст К.С., Паничев А.М., Чекрызов И.Ю., Кусайкин М.И. (2010). Диспергирование природного цеолита для получения биологически активных добавок. Химико-фармацевтический журнал, № 2, 37–40. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2010-44-2-37-40> // Golokhvast K.S., Panichev A.M., Chekryzhov I.Yu., Kusaykin M.I. Dispergirovanie prirodnogo tseolita dlya polucheniya biologicheskii aktivnykh dobavok.
- Оразымбетова А., Сакибаева С., Сагитова Г., Сүйгенбаева А. (2024). Шанқанай кен орнындағы цеолиттердің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы, (2), 138–150. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1491.228> // Orazymbetova A., Sakibayeva S., Sagitova G., Suigenbayeva A. Shankanay ken ornindagy tseolitterdin fizika-khimiyaalyk kasiyetterin zertteu.
- Kunecki P., Panek R., Kotejac A., Franus W. (2018). Effect of reaction time on crystalline structure of Na-P1 zeolite from fly ash microspheres. Microporous and Mesoporous Materials, 266, 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.05.007>
- Колесникова И.В., Алгузина Д.Р. (2021). Разработка быстротвердеющих некальцинированных самоуплотняющихся бетонов для промышленных технологий. № 2 (80), 28–34. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2021.2-28> // Kolesnikova I.V., Alguzhina D.R. Razrabotka bystrotverdeyushchikh nekaltsinirovannykh samouplotnyayushchikhsya betonov dlya promyshlennykh tekhnologiy.
- Болотских О.Н. (2009). Самоуплотняющийся бетон и его диагностика. Харьковская национальная академия городского хозяйства. <https://pamag.ru/prensa/auto-beton/> Bolotskikh O.N. Samouplotnyayushchiysya beton i ego diagnostika.
- ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности // GOST 18105-2018. Betony. Pravila kontrolya i otsenki prochnosti.
- Technotest S.R.L. Materials Testing Equipment. Техническая документация, ГОСТ R 8.663-2009 GSI. Схема государственной поверки средств измерения силы. // Technotest S.R.L. Tekhnicheskaya dokumentatsiya, GOST R 8.663-2009 GSI. Skhema gosudarstvennoy poverki sredstv izmereniya sily.

Information about authors

Galymzhanova Dinara – master of engineering and technology, Zhangir Khan West Kazakhstan Khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan, diko_96@bk.ru

Tilekkabyl Alua – master of engineering and technology, IEC Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil Engineering, Almaty, Kazakhstan, Kanbabina@mail.ru

Yeskaliyev Meirambek – master of engineering and technology., Zhangir Khan West Kazakhstan Khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan, eskaliev-1991@mail.ru

Saktaganova Nargul – PhD, Department of «Architecture and Construction Production», Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, amanovna.75@mail.ru

Zhapakhova Akmaral – Candidate of Technical Sciences, associate professor, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, zhapakhova@mail.ru