

**Т.А. Толкынбаев¹, Ш.Б. Толеубаева¹, К.А. Абдрахманова²
А.Т. Мухамеджанова^{2*}**

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

²Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Авторлар жайлы ақпарат:

Толкынбаев Темирхан Анапияевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-8549-3064>, email:temtol1961@mail.ru

Толубаева Шамшығайын Болатқызы – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-8044-5346>, email:shamshygaiyn@mail.ru

Абдрахманова Қаламқас Аманбековна – PhD, аға оқытушы, Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-7218-4502>, email:kagaip@mail.ru

Мухамеджанова Асель Толеубековна – PhD, аға оқытушы, Абылқас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0002-5084-2527>, email:assel.84@mail.ru

КЕШЕНДІ ТҮРЛЕНГЕН ҚОСПА ҚОСЫЛҒАН АУЫР БЕТОННЫҢ ҚАТАЮ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМ ТҮЗЕУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аңдатпа. Мақалада көпкомпонентті түрлендірілген байланыстырғыштардың гидратациясы мен қатаю процесстері зерттелді. Түрлендірілген байланыстырғыштағы цемент тасының жоғары беріктігі тұрақты төмен негізді гидросиликаттардың пайда болуына байланысты екендігі көрсетілді. Цемент құрамына тау-кен байыту комбинатының микрокремнеземін және байыту қалдықтарынан тұратын кешенді түрлендіруші қоспаны енгізу бетонның беріктіктің арттыратыны анықталды.

Түйін сөздер: түрлендірілген қоспа, байланыстырғыш, гидратация, қалдықтар, микрокремнезем, цемент тасы, кальций гидроксиді, сульфатқа төзімді цементі.

Кіріспе

Құрылыс саласында заманауи технология мен материалдарды қолданудың әлеуметтік маңыздылығы жоғары және құрылыстағы басты инновациялық үрдіс болып табылады.

Түрлендірілген ауыр бетон әлемдік құрылыс тәжірибесінде инженерлік мәселелердің кең ауқымын шешуге мүмкіндік беретін және құрылыс өнімдерінің заманауи сапасы мен бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ететін әмбебап материал ретінде жетекші орындардың бірін алады.

Құрылыстық-қолданыстық сипаттамалары қазіргі заманғы құрылыс талаптарын қанағаттандыратын, қасиеттері мен құрылымы белгіленген бағытта арнайы жетілдірілген бетон өндіру үшін, тиімділігі жоғары, күрделі құрамды байланыстырғыш материалдар өндіру қажет.

Айтылған талаптарға сай байланыстырғыш материал өндірудің негізі – технологиялық процесстерді мақсатты түрде жетілдіру және реттеу, яғни активті

компоненттерді пайдалану, құрамды бағытты түрде тиімдеу, химиялық қоспаларды қолдану, компоненттерді механо-химиялық өңдеу және басқа әлемдік озық технологиялық тәсілдерді қабылдау.

Бүгінгі таңда жаңа буынның жоғары тиімді байланыстырғыштарын алу жоғары құрылыстық-қолданыс қасиеттері бар әртүрлі функционалды мақсаттағы жоғары беріктігі бар бетондарды алу үшін компоненттердің күрделі құрамын қолданумен қатар жүреді [1-4].

Сөйтіп, 45% түсті металлургия және химиялық қоспалар бар көпкомпонентті байланыстырғыш алынды. Бұл ретте микропорлардың тиімді радиусы мөлшерінің 10,5-тен 10,8нм-ге дейін шамалы өсуімен субмикроскопиялық құрылымның жақсаруы айқындалған, бұл ірі кеуектерді (100нм-ден астам) кальций гидросиликаттарымен толтырумен байланысты болуы мүмкін [5-9].

Жұмыстың мақсаты – шағын кремнеземнен және Қарағайлы тау-кен байыту комбинатының байыту қалдықтарынан тұратын кешенді қоспаның гидраттық жаңа түзілістердің құрамы мен морфологиясына әсері, сондай-ақ цемент жүйелерінің қату процестерін зерттеу.

Материалдар мен әдістері

Байланыстырғыштың құрамына (салмағы бойынша%): цемент ЦЕМ I 42,5 Н СС – 70-80; микрокремнезем – 5-10; Қарағайлы тау-кен байыту комбинатының (ҚТБК) байыту қалдықтары – 10-20 кіреді. Байланыстырғыш компоненттерді нақты бетке – 320-350 м²/кг дейін құрғақ ұнтақтау арқылы дайындалады.

Қоспасыз байланыстырғыш зат ретінде сульфатқа төзімді ЦЕМ портландцемент I 42,5 Н СС ГОСТ 22266-2013 «Стандарт-Цемент» ЖШС (Қазақстан Республикасы, Шымкент қ.) пайдаланылды.

Қарағайлы тау-кен байыту комбинатының меншікті беті 160-205 м²/кг байыту қалдықтары негізінен кварцтан тұрады (76-85%) минералдар бар: монтмориллонит (5-8%), доломит (5-10%), репидомит (3-5%), пирит (1-6%), альбит (2-4%), лейхтенбергит (3-10%). Қарағайлы тау-кен байыту қалдықтарының химиялық құрамы (салмағы бойынша % – бен): SiO₂ – 84,19; Fe₂O₃ – 1,18; Al₂O₃ – 1,58; CaO – 2,58; MgO – 0,60; С – 1,52; S_{жалпы}-0,54.

Дифференциалды-термиялық зерттеулер МОМ-1000 жүйесінің дериватографында Ф.Паулик, И. Паулик және Л. Эрдей ауа тоғындағы 25-1000°С температура аралығында жүргізілді. Температураның көтерілу жылдамдығы – 7,5град/мин. Термиялық түрленулер массаның жоғалу қисығы (ТГ), массаның дифференциалдық жоғалу (ДТА) және дифференциалдық температураның (ДТА) өзгеруі бойынша анықталды.

Цемент тасын спектрлік талдау «Spekord» екі арналы спектрофотометрінде жүргізілді. РЭМ-200 және ЭМВ-100 БР электронды микроскоптарында кристалдардың пішіндері, өлшемдері, орналасуы мен түрлері зерттелді, көлемді бейнелер алынды, цемент тасының жеке бөлімдерінің құрамы анықталды.

Кешенді модификациялық қоспаның оңтайлы құрамы ГОСТ 310. 4 -81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» талаптарына сәйкес қалыпты катаюдан кейін 4x4x16см (ерітінді) сынау арқылы цемент тасын сығу кезіндегі ең үлкен беріктікке сүйене отырып анықталды.

Нәтижелер және талқылау

Тәжірибелік үлгілерді жылу-ылғалмен өңдеу режим бойынша жүргізіледі 2+4+2 максималды температурасы 65°C бұл ретте жылу берудің ең жоғары температурасы әдеттегіден 20°C-қа төмендеді, ал изотермиялық ұстау ұзақтығы 3 сағатқа қысқарды. Сандық бағалау цемент тасының субмикроскопиялық құрылымында микробіркелкі емес (2-ден 100 нм-ге дейін) таралуы аз бұрыштық шашырау әдісімен жүргізілді.

Өзірленген түрлендірілген азклинкерлі байланыстырғышының құрамымен беріктік қасиеттері 1-кестеде келтірілген. Сынақ нәтижелері қалыпты жағдайда 28 күндік қатаю кезінде түрлендірілген азклинкерлі байланыстырғыштық шегі 51,5-57,0 МПа құрайтынын көрсетеді. Цемент құрамына ЦЕМ I 42,5 Н СС кешенді түрлендіруші қоспаны енгізу 28 тәулік уақытында сығылу кезіндегі беріктігін 15,7 – 28%-ға арттырады.

1-кесте – Түрлендірілген азклинкерлі байланыстырғыштың қасиеттері [автор материалы]

Байланыстырғыш заттардың құрамы, масс %				Сығылу кезіндегі беріктік шегі, МПа
Цемент ЦЕМ I 42,5 Н СС	Микрокремне-зём	Қарағайлы тау-кен комбинатының байыту қалдықтары (ҚТБК)	Модификатор	
84,5	5	10	0,5	51,5
74,2	7,5	15	0,8	57,0
64,0	10	20	1,0	54,0

Цемент тасын дифференциалды-термикалық зерттеу (ДТТ қисықтары және қыздыру кезінде ылғалдың жоғалу нәтижелері) қыздыру температурасымен гидраттық фазалардың қыздыру кезінде суды ұстап тұру қабілеті арасындағы тығыз байланысты көрсетеді (2-кесте).

Цемент тасын қыздыру кезінде салмақ жоғалтуды талдау кешенді қоспалар химиялық байланысқан су мөлшерінің өсуіне ықпал ететінін көрсетеді.

Дифференциалды-термикалық зерттеулер рентген талдауларының деректерін растайды. ДТТ қисықтары және цемент тасының ылғалдылығын жоғалту нәтижелері (2-кесте) қыздыру температурасы мен гидрат фазаларының қызған кезде суды ұстап тұру қабілеті арасындағы тығыз байланысты көрсетеді. Кешенді қоспалар химиялық байланысқан су мөлшерінің өсуіне ықпал етеді.

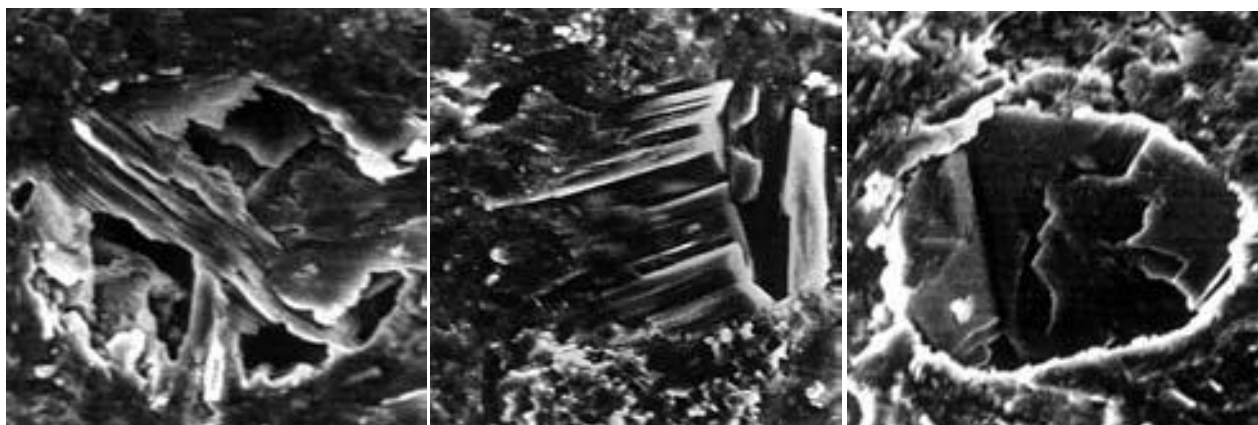
2-кесте – Дифференциалды-термиялық талдау мәліметтері бойынша цементті тасты қыздыру барысында массасын жоғалтуы [автор материалы]

Цемент түрі	Температуралық аралықтарда % массаның жоғалуы, °С			Салыстырмалы салмақ жоғалту, %
	20-200	20-600	20-1000	
ЦЕМ I 42,5 Н СС	4,9	13,5	23	36
ЦЕМ I 42,5Н СС + 20 % МД	5,2	12,3	22	41

Көпкомпонентті түрлендірілген байланыстырғыштың қартықшылығы – байыту қалдықтарының бөлігі болып табылатын кальций мен магний карбонаттарымен әрекеттесіп, кальций алюминаттарын ылғалдандыру кезінде ерімейтін гидрокарбоалюминаттар пайда болады. Бұл тұрақты гидраттардың пайда болуы байланыстырғыштың қатаюын белсендіруге және бетонның беріктігін арттыруға көмектеседі.

Бұл қоспалар байыту қалдықтары, кристалдану орталықтарын ұлғайту, молекулааралық қабатты құрылымды қалыптастыру кезінде пайда болатын ішкі және кристалды қуыстардың өсуіне ықпал етеді деп болжауға болады. Мұндай қуыстар су молекулаларын ерекше бағдарланған күйде ұстай алады, онда молекулалардың айналу еркіндік дәрежелері тежеледі, ал аудармалы қуыстар ішінара шектеледі. Моноқабат шетіндегі мұндай су молекулалары қозғалмалы болып келеді және қайталамайтын ырғақты деформацияның пайда болуын жеңілдетіп, цементті гельдің жеңіл жылжуы үшін жағдай туғызады.

Электронды микроскоптарда кристалдардың пішіні, өлшемі, орналасуы мен түрі зерттелді, көлемді бейнелер алынды, цемент тасының жекелеген учаскелерінің құрамы анықталды. СН және С-S-H фазаларының өну процесі, сондай-ақ гидраттар морфологиясының өзгерістері зерттелді (1-сурет).



1-сурет – Цемент тасының микроқұрылымы ЦЕМ I 42,5Н СС + 20 % МД, x2500.
цемент тасының микропорлары CSH (1) Фольгасы бар жұқа парақтармен тығыздалады
(180 тәулікте қатаю), портландит блоктарының гель тәрізді CSH-мен қосылуы
[авторлар материалы]

Күрделі түрлендірілген қоспалар гидраттардың пайда болу жылдамдығын айтарлықтай өзгертеді. Байланыстырғышты сумен еріткеннен кейін 3 минуттан соң гидратация процесінің күшеюін көрсететін алғашқы инешікті жаңа түзілімдер пайда болады.

2500 есе ұлғайған кезде 2-3 мкм өлшемінде микропорлар байқалады. Қатаюдың 3-ші күнінде портландиттің алтыбұрышты призмалық кристалдары осындай тесіктердің түбінде кездеседі, бұл сұйық фазаның Ca^{2+} иондарымен алғашқыда күшті аса қаныққанын көрсетеді. Портландиттің гексагонал кристалдарының одан әрі қайта кристалдануы және өсуі ұжымдық өсу заңдарына бағынады және метасоматикалық түрде жүреді [10]. Кристалданудың қатаю

мерзімінің ұлғаюымен портландит сусыз силикат кристалдары ішіндегі топохимиялық гидратациялық процестер жолымен жүреді [11]. Бұл жағдайда пайда болған кальций гидроксиді диффузия үшін кеңістіктің болмауына, сондай-ақ құрамында кремний бар топтардың қосындылары нәтижесінде пайда болатын бұзылуларға байланысты аморфты болуы мүмкін.

Қатаю процесінде портландит кешенді қоспаның белсенді кремнеземімен байланысады. Егер портландит аморфты түрде болса пуццоландық реакция (байланыстыру процесі) тезірек жүреді. Сонымен, кәдімгі формадағы CSH (I) түзіледі, ол үлкен, бірақ өте жұқа парақтар немесе қалыңдығы негізгі қабаттың қалыңдығына тең фольга сияқты болады. Бұл парақтар немесе фольга оңай жабысады, олар 2 мкм-ге дейін борпылдақ қатпарлы агрегаттар түзеді. CSH (I) фольгасының жапырақтары соншалықты жұқа және мөлдір, тек жұқа талшықты құрылым бейнесінде көрінетін қатпарлар секілді. Тексеруден айырмашылығы, портландит блоктарына күрделі қоспалары бар цемент тасында цемент гелімен тығыз біріктіріліп, гель мен СН монолитін немесе олардың өзара өну аймағын құрайды.

Сыртқы ритмнің құрылымы жаңа түзілімдерден және ұжымдық өсу заңдарына бағынатын өсіп келе жатқан кристалдардан тұрады.

Қатаю кезеңінің жоғарылауымен кристалдар сыртқы ритм құрылымдарында өседі және кристалдар ішкі ритм құрылымдарында пайда болады, бұл кристалдар мен олардың жаңа түзілімдерінің қайта кристалдануына әкеледі. Күрделі қоспалар кристалдану сипатына әсер ете отырып, қатты ерітінді түзуімен кристалл құрамын өзгерте алады.

Цемент тасын қатайту процесінде портландит қабаттары оған әртүрлі элементтер мен иондарды енгізу үшін матрица болып табылады, содан кейін гидрат қосылыстары пайда болады. Бұл цемент тасының көптеген гидраттық қосылыстарында кальций гидроксиді құрылымының элементтерінің болуын түсіндіреді.

Қорытынды

1. Цемент құрамына ЦЕМ I 42,5 Н СС Қарағайлы тау-кен байыту комбинатының микрокремнеземнен және байыту қалдықтарынан тұратын кешенді түрлендіруші қоспаны енгізу 28 тәулік уақытында қысу кезінде беріктігін 15,7 – 28%-ға арттыратыны анықталды.

2. ДТТ қисықтары және қыздыру кезінде цемент тасының ылғалдылығын жоғалту нәтижелері жылу температурасы мен гидрат фазаларының қызған кезде суды ұстап тұру қабілеті арасындағы тығыз байланысты көрсетеді. Кешенді қоспалар химиялық байланысқан су мөлшерінің өсуіне ықпал етеді.

3. Ең аз кеуектілігі және жоғары беріктігі бар цемент тасының құрылымын қалыптастыруды қамтамасыз ету үшін гидраттық жаңатүзілімдердің құрамын тұрақтандыруды, олардың фазалық ауысуларының алдын алуды, гидратация процесін реттеуді, минералды қоспалар мен микротолтырғыштардың құрамын таңдау арқылы гидратация өнімдеріндегі кристалды гель тәрізді массалардың оңтайлы арақатынасын қамтамасыз ету қажет.

4. Тұрақты кальций гидросиликаттарының пайда болуының қосымша көзі – бұл клинкер минералдарын ылғалдандыру кезінде бөлінетін портландитті аморфты кремниймен күрделі түрлендірілген қоспаның сіңуімен жүретін пуццоландық реакция.

Әдебиет:

1. Zhakipbekov, Sh.K., Aruova, L.B., Toleubayeva Sh.T., Ahmetganov, T.B., Utkelbaeva, A.O. The features of the hydration and structure formation process of modified low-clinker binders. *Magazine of Civil Engineering*. 2021, 103(3). Article No. 10302. DOI: 10.34910/MCE.103.2
2. Neville A.M., Brooks J. J. *Concrete technology*. Prentice Hall, 2010, 392 с.
3. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов: монография. М.: МГСУ, 2013, 204 с.
4. Shoaib M.M., Balaha M.M., Abdel-Rahman A.G. Influence of cement kiln dust on the mechanical properties of concrete. *Cem. Concr. Res.* 2000, № 30, 371-377.
5. Жақипбеков Ш.К., Жақипбеков Д.Ш. Твердение малоклинкерных вяжущих с использованием комплексных модифицирующих добавок. *Сухие строительные смеси*. 2014, 5, 21-22.
6. Кузнецова Т.В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы. М.: «Стройиздат», 1986, 208 с.
7. Гудкова Н.Н., Буслов А.С. Процесс набора прочности бетона из активированной бетонной смеси и влияние на него марки цемента. *Системные технологии*. 2017, 23, 34-38.
8. Дубровин А.И., Кузнецова Н.В. Использование отходов металлургической промышленности в качестве добавки в цементные смеси мелкозернистых бетонов. *Сборник VI Международной научно-практической конференции*. 2017, 62-65.
9. Jackson Muthengia Wachira. Effects of Chlorides on Corrosion of Simulated Reinforced Blended Cement Mortars//*International Journal of Corrosion*, Volume 2019, Article ID 2123547/ <https://doi.org/10.1155/2019/2123547>.
10. Байсариева А.М., Толеубаева Ш.Б., Смагулова Р.К. Эффективные модифицированные бетоны в строительстве. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2020, 9(65), 1, 84-87.
11. Ахметжанов Т.Б., Толеубаева Ш.Б., Скрипникова Н.К., Смагулова Р.К. Цемент жүйелерінің қатаю процесстеріне кешенді қоспалардың әсер ету механизмдері Университет еңбектері, Карағанды: ҚарТУ. 2020, 4 (81), 99-101.

References:

1. Zhakipbekov Sh.K., Aruova L.B., Toleubayeva Sh.T., Ahmetganov T.B., Utkelbaeva, A.O. (2021) The features of the hydration and structure formation process of modified low-clinker binders. *Magazine of Civil Engineering*. 103(3). Article No. 10302. (in Eng.) DOI: 10.34910/MCE.103.2.
2. Neville AM, Brooks J.J (2010) *Concrete technology*. Prentice Hall, 392. (in Eng.)
3. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. (2013) *Struktura i svoystva betonov s nanomodifikatorami na osnove tehnogennyih othodov [Structure and properties of concrete with nanomodifiers based on man-made waste] Monografiya - Moskva: MGSU, 204. (in Russ.)*
4. Shoaib M. M., Balaha M.M., Abdel-Rahman A.G.: influence of cement kiln dust on the mechanical properties of concrete. *Cem. Concr. Res.* 2000, 30, 371-377. (in Eng.)
5. Zhakipbekov Sh.K., Zhakipbekov D.Sh. Tverdenie maloklinkernyih vyazhuschih s ispolzovaniem kompleksnyih modifitsiruyuschih dobavok [Hardening of small clinker binders with the use of complex modifying additives] *Suhie stroitelnyie smesi = Dry building mixes*. 2014, 5, 21-22. (in Russ.)

6. Kuznetsova T.V. (1986) *Alyuminatnyie i sulfoalyuminatnyie tsementyi [Aluminate and sulfoaluminate cements]* - М.: «Stroyizdat», 208. (in Russ.)
7. Gudkova N.N., Buslov A.S.: *protsess nabora prochnosti betona iz aktivirovannoy betonnoy smesi i vliyanie na nego marki tsementa. [The process of setting the strength of concrete from activated concrete mix and the impact on its brand of cement]* *Sistemnyie tehnologii= System technologies.* 23, 34-38. (in Russ.)
8. Dubrovin A.I., Kuznetsova N.V. *Ispolzovanie othodov metallurgicheskoy promyishlennosti v kachestve dobavki v tsementnyie smesi melkozernistyih betov [Use of waste of metallurgical industry as additives in cement mixtures of fine-grained surfaces]* *Sbornik VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference.* 2017, 62-65. (in Russ.)
9. Jackson Muthengia Wachira (2019). *Effects of Chlorides on Corrosion of Simulated Reinforced Blended Cement Mortars.* *International Journal of Corrosion*, Article ID 2123547. (in Eng.) <https://doi.org/10.1155/2019/2123547>.
10. Baysarieva A.M., Toleubaeva Sh.B., Smagulova R.K. *Effektivnyie modifitsirovannyye betonyi v stroitelstve. Aktualnyie nauchnyie issledovaniya v sovremennom mire [Effective modified concrete in construction]* *Aktualnyie nauchnyie issledovaniya v sovremennom mire = Current scientific research in the modern world* 2020, 9(65) 1, 84-87. (in Russ.)
11. Ahmetzhanov T.B., Toleubayeva Sh.B., Skripnikova N.K., Smagulova R.K. *Cement juyelerinin qatayu processterine keshendi qospalardin aser etu mexanizmderi [Mechanisms of action of complex additives on hardening processes of cement systems]* *Universitet enbekteri = University documents, Karagandi.* 2020, 4 (81), 99-101. (in Kaz.)

**Т.А. Толкынбаев¹, Ш.Б. Толеубаева¹, К.А. Абдрахманова²,
А.Т. Мухамеджанова^{2*}**

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

²Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова,
Караганды, Казахстан

Информация об авторах:

Толкынбаев Темирхан Анапияевич – доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-8549-3064>, email:temtol1961@mail.ru

Толеубаева Шамшыгайын Болаткызы – магистр технических наук, старший преподаватель, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-8044-5346>, email:shamshygaayn@mail.ru

Абдрахманова Каламкас Аманбековна – Ph.D., старший преподаватель, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганды, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-7218-4502>, email:kagaip@mail.ru

Мухамеджанова Асель Толеубековна – Ph.D., старший преподаватель, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганды, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-5084-2527>, email:assel.84@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ГИДРАТАЦИИ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАЛОКЛИНКЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ

Аннотация. Исследованы процессы гидратации и твердения многокомпонентных модифицированных добавок. Показано, что высокая прочность цементного камня в модифицированном вяжущем обусловлена образованием стабильных низкоосновных гидросили-

катов. Установлено, что введение в состав цемента микрокремнезема горно-обогатительного комбината и комплексной модифицирующей добавки, состоящей из отходов обогащения, повышает прочность бетона.

Ключевые слова: модифицированная добавка, вяжущие, гидратация, отходы, микрокремнезем, цементный камень, гидроксид кальция, сульфатостойкий цемент.

**T.A. Tolkynbayev¹, Sh.B. Toleubayeva¹, K.A. Abdrakhmanova²
A.T. Mukhamedzhanova^{2*}**

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nursultan, Kazakhstan

²Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Information about authors:

Tolkynbayev Temirkhan – Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-8549-3064> ,email:temtol1961@mail.ru

Toleubayeva Shamshygaiyn – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-8044-5346> ,email:shamshygaiyn@mail.ru

Abdrakhmanova Kalamkas – PhD, Senior Lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-7218-4502> , email:kagaip@mail.ru

Mukhamedzhanova Asel – PhD, Senior Lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-5084-2527> , email:assel.84@mail.ru

**FEATURES OF THE PROCESS OF HYDRATION AND STRUCTURE
FORMATION OF MODIFIED LOW-CLINKER BINDERS**

Abstract. *The processes of hydration and hardening of multicomponent modified additives are investigated. It is shown that the high strength of cement stone in a modified binder is due to the formation of stable low-base hydrosilicates. It was found that the introduction of silica micro-silica of the mining and processing plant and a complex modifying additive consisting of enrichment waste into the cement increases the strength of concrete.*

Keywords: *modified additive, binders, hydration, waste, silica, cement stone, calcium hydroxide, sulfate-resistant cement.*