



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_1_324
MFTAA 67.09.43

М.Ж. Рыскалиев¹, С.М. Жарылгапов¹, Е.Б. Мажитов¹, А.Б. Кыдырашев¹
Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық - техникалық университеті,
Орал қ., Қазақстан
*E-mail: muratbai_84@mail.ru**
E-mail: sabit.raisa@mail.ru
E-mail: mazhitov201090@gmail.com
E-mail: a.kydrashov@mail.ru

ЦЕМЕНТ ТАСЫНЫҢ ҚАТАЮ ПРОЦЕСТЕРІНЕ КӨБІК ТҮЗГІШТІҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ НА ПРОЦЕССЫ ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE FOAMING AGENT ON THE HARDENING PROCESSES OF CEMENT STONE

Аңдатпа. Мәліметтерді талдау көбік түзетін агентті аз тұтыну кезінде цемент тасының беріктігінің жоғарылауы байқалады, ал жоғары тұтыну кезінде беріктіктің төмендеуі байқалады. Максималды беріктікке биосурфактантты қоспаны тұтыну 0,4 %, ал «Неопор» цемент салмағы бойынша 0,6 %, ол 5 % артады. Цемент гидратациясының және цемент тасының қатаюының кейбір бастапқы баяулауы 1-3 күндік жаста өтеледі. Құрамында көбік түзетін заттың жоғары болуымен беріктіктің төмендеуі цементтің гидратациясының баяулауымен және цемент тасының құрылым түзілуінің баяулауымен байланысты. Қоспада көбік түзетін заттың көп шығыны кезінде төмен молекулалық заттардың мөлшері цементтің гидратациясы айтарлықтай баяулайтын мөлшерге жетеді. Зерттеудің көрсеткеніндей, цементтің гидратация дәрежесі беттік-активті қоспаның мөлшеріне байланысты. Көбік түзетін қоспаның концентрациясы ең алдымен цемент тасының сандық фазалық құрамына әсер ететіні анықталды. Гидрат фазаларының сапалық құрамы қоспаның құрамына қарамастан тұрақты болып қалады. Жоғары концентрацияларда беттік-белсенді заттардың молекулалары цемент гидратациясының баяулауымен бірге жүретін бастапқы цемент түйіршіктерінің және нәтижесінде пайда болатын гидрат фазаларының бетіне адсорбцияланады.

Түйін сөздер: қатаю, көбік түзуші, цемент, гидратация, көбікбетон, цементтің қату уақыты, беріктік, құрылым

Аннотация. Анализ данных показывает, что при малом расходе пенообразователя наблюдается рост прочности цементного камня, а при большом расходе происходит снижение прочности. Максимальная прочность достигается при расходе добавки биоПАВ 0,4 %, а «Неопор» 0,6 % от массы цемента, она возрастает 5 %. Некоторое начальное замедление гидратации цемента и твердение цементного камня компенсируется уже в возрасте 1-3-х сут. Снижение прочности при высоком содержании пенообразователя обусловлено замедлением гидратации цемента и замедлением структурообразования цементного камня. При большом расходе пенообразователя в смеси содержание низкомолекулярных веществ достигает такого количества, при котором сильно замедляется гидратация цемента. Исследование показывает, что степень гидратации цемента зависит от количества поверхностно-активной добавки. Установлено, что концентрация пенообразующей добавки влияет преимущественно на

количественный фазовый состав цементного камня. Качественный состав гидратных фаз остается постоянным независимо от содержания добавки. При повышенных концентрациях молекулы ПАВ адсорбируются на поверхности зерен исходного цемента и образующихся гидратных фаз, что сопровождается замедлением гидратации цемента

Ключевые слова: затвердевание, пенообразователь, цемент, гидратация, пенобетон, время затвердевания цемента, прочность, структура

Abstract. Data analysis shows that with a low consumption of foaming agent, an increase in the strength of cement stone is observed, and with a high consumption, a decrease in strength occurs. The maximum strength is achieved with the consumption of a bioPAV additive of 0.4%, and "Neopor" 0.6% of the cement weight, it increases by 5%. Some initial slowdown in cement hydration and hardening of cement stone is compensated already at the age of 1-3 days. The decrease in strength with a high content of foaming agent is due to a slowdown in cement hydration and a slowdown in the structure formation of cement stone. With a large consumption of foaming agent in the mixture, the content of low molecular weight substances reaches such an amount that the hydration of cement slows down significantly. The study shows that the degree of hydration of cement depends on the amount of surfactant. It was found that the concentration of the foaming additive mainly affects the quantitative phase composition of the cement stone. The qualitative composition of the hydrate phases remains constant regardless of the additive content. At elevated concentrations, surfactant molecules are adsorbed on the surface of the grains of the initial cement and the resulting hydrate phases, which is accompanied by a slowdown in cement hydration

Keywords: solidification, foaming agent, cement, hydration, foam concrete, cement solidification time, strength, structure

Кіріспе. Көбіктің өміршеңдігін арттыруға әдетте ерітіндіге тұрақтандырғыш заттарды енгізу арқылы қол жеткізіледі. Тұздар құрамында көп валентті металл иондары, сұйық шыны, полиспирттер, полисахаралар, органикалық заттар және т.б олар қоюландырғыш ретінде әрекет етеді, ерітіндінің тұтқырлығын арттырады, пленкалардың қалыңдығын арттырады, көбіктен сұйықтың ағып кету процесін баяулатады (Магдеев & Гиндин, 1997).

Әдебиеттерге шолу. Көбік шөгінділерінің төмендеуі толтырғыштың құрамы мен құрылымына байланысты: ол кеуекті кеңістікті (жақтауды) қалыптастыру үшін қажетті материал ретінде қызмет етеді. Жоғары дисперсті толтырғыштың диффузия жылдамдығы төмен, ал гидрат қабықшалары цемент бөлшектерінің бір-біріне жабысып, салмағын тежейді (Сахаров, 1997).

Орташа тығыздықтан басқа, көбік бетонының беріктігіне толтырғыш массасының тұтқыр массаға қатынасы, сондай-ақ оңтайлы С/Т қатынасы және ББЗ ерітіндісінің концентрациясы үлкен әсер ететіні белгілі. Максималды беріктікке толтырғыштың тұтқырға белгілі бір қатынасы болған кезде ғана қол жеткізіледі. Бұйымдарды қалыптау және ұялы бетонның кеуекті құрылымын қалыптастыру шарттарынан қоспаның оңтайлы мәні оның беріктігі мен аязға төзімділігінің ең жоғары мәндеріне сәйкес келеді, бұл макро кеуекті құрылымы жақсы материалды алуға байланысты болады (Хархардин & Веснин, 1999).

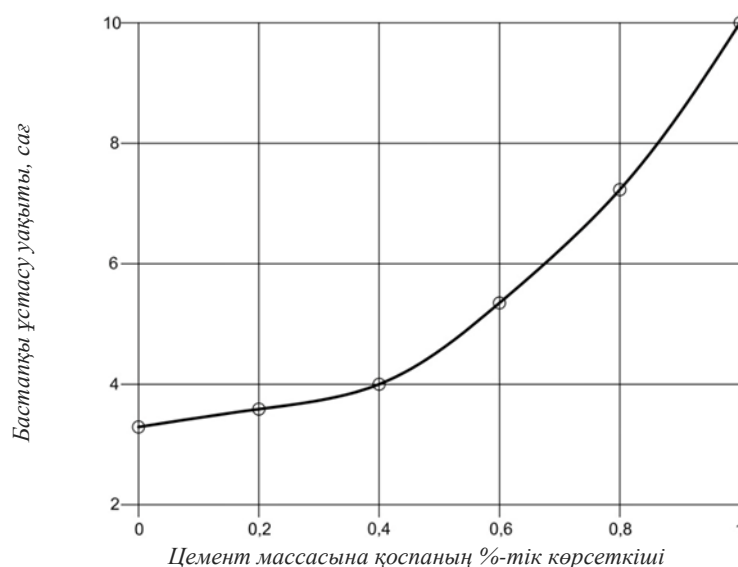
Портландцементпен карбонатты тау жыныстарының қоспалары негізінде қатайтатын құрылымдардың пайда болуының қазіргі заманғы идеясы кальций карбонаттарының қатысуымен C_3S және C_2S гидратациясында $6CaO \cdot SiO_2 \cdot CaCO_3 \cdot nH_2O$ скаутитінің маңызды емес мөлшері түзілетіндігін көрсетеді (Коротышевский, 1999). Бос әк болған кезде кальцийдің негізгі карбонаттарының түзілуі мүмкін, олардың беріктігін қалыптастырудағы рөлі толық анықталмаған (Граник, 1997). Құрамында алюминий бар клинкер минералдары – C_3A , C_4AF – $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ текше кальций гидроалюминаты түзіледі. Гидрокарбоалюминаттар бір-бірімен және карбонатты толтырғыштардың бетімен тығыз кристалды конгломератқа біріктіріледі (Цыремпилов және т.б., 1997).

Беріктік жиынтығының кинетикасы цемент байланыстырғыштың ылғалдану жылдамдығымен анықталады. Пластикалық беріктіктің жеделдетілген жиынтығы көбік бетон массасының стратификация дәрежесін азайтуға және өнімнің бүкіл көлемінде жасушалық құрылымды сақтауға мүмкіндік береді (Монтаев және т.б., 2016).

Жұқа ұнтақталған дисперсті толтырғыш және көбік түзетін ерітіндінің шығыны тұтқыр

заттың ғана емес, көбік бетонның да қасиеттерін айтарлықтай өзгертеді. Тұтқыр затты толтыру дәрежесінің жоғарылауымен оның су қажеттілігі артады. Тұтқыр қамырдың қалыпты тығыздығы, зерттеулер көрсеткендей, 27-31 % (портландцементтің қалыпты тығыздығы деңгейінде), толтырғыштың мөлшері 25-45% аралығында өзгерді. Осылайша, тұтқыр заттың карбонатты толтырғышпен қалыпты тығыздыққа сәйкес келетін судың қатты қатынасын өзгерту функциясы сызықтыққа жақын, ал көбік түзгіш пластификациялаушы әсерге ие (Меркин, 1994). Бұл туралы, көбіктендіргіштің шығыны кезінде цемент массасының 0,6 % НГЦ 0,24-тен 0,21-ге дейін өзгереді (НГЦ=0,24 осы портландцемент үшін төлқұжат бойынша).

Материалдар және зерттеу әдістері. Беттік белсенді заттар тұтқыр заттың қатаю уақытына да айтарлықтай әсер етеді (Гладков, 1999). Осыған байланысты көбік түзгіштің цементті орнату уақытына әсері бойынша зерттеулер жүргізілді. 1-суреттен цемент массасынан көбік түзгіштің шығыны 0,4 %-ға дейін орнату уақытының өзгеруіне аздап әсер ететінін көруге болады (Черных және т.б., 1998). Жалпы, беттік белсенді заттар бастапқы кезеңде кристалдану орталықтарының дамуына және бірігуіне жол бермейді, сонымен қатар тұтқыр заттың еру жылдамдығын төмендетеді, бұл құрылымдардың беріктігінің дамуын кешіктіреді (Гарнашевич және т.б., 1998). Белгілі германдық «Неопор» көбіктендіргіші сияқты, био ББЗ цемент қамырының құрылымын қалыптастыруға тежегіш әсер етеді (Соловьева, 2007).



1-сурет. БиоББЗ санының цемент орнатудың басталу уақытына әсері
Ескерту – авторлар негізінде құрастырған (Соловьева, 2007)

t_1 басталу және t_2 аяқталу уақыты оның компоненттерінің (X_1) қатынасына және көбік түзетін ерітіндінің (X_2) шығынына байланысты тұтқыр заттың орнатылуы және өрнектен анықталуы мүмкін:

$$t_1 = 6,95 + 0,90 X_1 + 1,28 X_2 - 0,28 X_1 X_2 \quad (1)$$

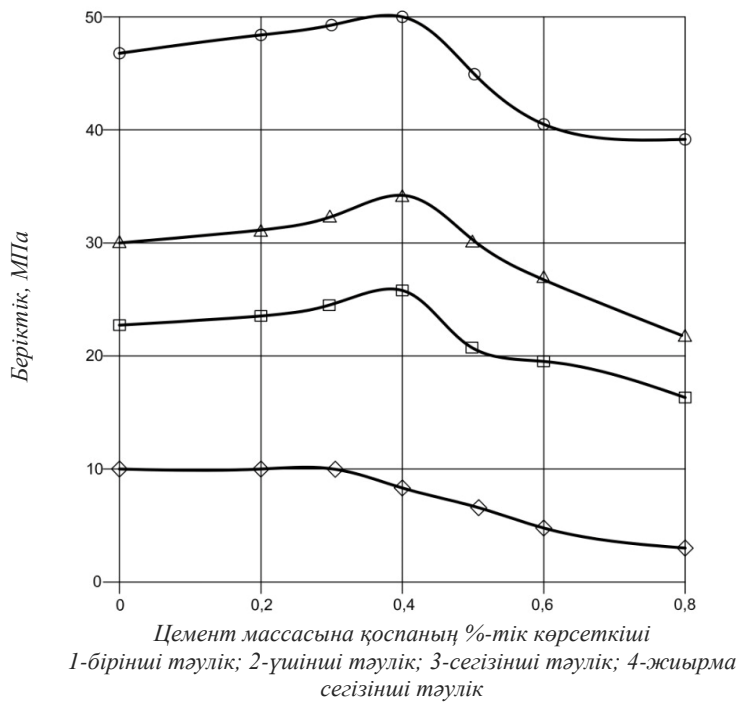
$$t_2 = 7,94 + 0,94 X_1 + 1,69 X_2 - 0,16 X_1 X_2$$

мұндағы: t_1 – басталу уақыты; t_2 – аяқталу уақыты; X_1 – компоненттер қатынасы; X_2 – көбік түзетін ерітінді шығыны.

Алынған деректерді талдау қалыпты тығыздық сынағына сәйкес келетін В/Т қатынасында компоненттердің қатынасы мен көбік түзетін ерітіндінің ағыны мен орнату

уақытының басы мен соңы арасында байланыс бар екенін көрсетеді (Меркин, 1994). Орнату уақытын қысқарту үшін зерттелетін факторлардың мәндерін азайту керек. Бұған X_1 және X_2 алдындағы (+) белгілер дәлел бола алады. Коэффициенттердің шамаларын салыстыра отырып, көбік түзетін ерітіндінің концентрациясы тұтқыр заттағы толтырғыштың пайызына қарағанда орнату уақытына көбірек әсер ететінін байқауға болады. Зерттелетін мәндер саласындағы факторлардың жұптық үйлесімі оның шамалы екенін және орнату уақытын қысқартуға ықпал етпейтінін көрсетеді (Mugahed Amran және т.б., 1998; Ахметов, 1992).

Цемент тасының беріктік параметрі байланыстырушы ББЗ ерітіндімен улану мөлшерін анықтауға мүмкіндік береді. ББЗ заттардың тұтқыр затқа әсер етуінің нәтижесі қоспасыз үлгіге қатысты қысу беріктігінің өзгеруі болып саналуы керек (Ахундов, 1998). Беріктікті анықтау қалыпты-ылғалдылық жағдайында 1, 3, 7, 28 күндік қатаюдан кейін жүргізілді (қалыпты-ылғалдылық жағдайы). Ақуызды көбіктендіргіштің цемент тасының беріктігіне әсерін зерттеу С/Ц өзгеріссіз жүргізілді. Цемент тасының беріктік қасиеттеріне көбік түзгіштердің әсерін салыстырмалы бағалау үшін әйгілі германдық «Неопор» көбік түзгішінің әсері зерттелді. Сығымдау күшінің өзгеруінің енгізілген қоспаның мөлшеріне тәуелділігі 1-кестеде және 2-суретте көрсетілген.



2-сурет. Цемент тасының беріктігінің биоББЗ санына және қатаю уақытына тәуелділігі
Ескерту – авторлар негізінде құрастырған (Шинтемиров Рыскалиев, 2015)

1-кесте. Цемент тасты сығымдау кезінде ББЗ заттар санының беріктікке әсері

Қоспа мөлшері, цемент массасының %	Қысу күші, МПа							
	«Биопор»				«Неопор»			
	1 күн	3 күн	7 күн	28 күн	1 күн	3 күн	7 күн	28 күн
0	10,1	25,1	31,6	47,8	10,1	25,1	31,6	47,8
0,2	10,3	24,7	32,0	48,7	9,6	24,7	31,6	47,8

0,4	8,3	27,3	34,5	50,0	9,0	26,2	33,2	48,2
0,6	6,2	19,2	26,0	41,0	8,5	29,2	35,7	48,8
0,8	1,5	16,2	22,6	37,3	5,6	20,9	27,4	40,5

Ескерту – авторлар құрастырған

Нәтижелері және оларды талқылау. 2-суреттегі қисықтарды талдау көрсеткендей, көбіктендіргіштің аз шығыны цемент тасының беріктігінің жоғарылауын көрсетеді, ал үлкен ағынмен беріктіктің төмендеуі байқалады. Максималды беріктікке биоББЗ қоспасын тұтыну кезінде 0,4 %, ал «Неопор» цемент массасының 0,6 % жетеді, ол 5 %-ға өседі. Цемент гидратациясының кейбір бастапқы баяулауы және цемент тасының қатаюы 1-3 тәулік жасында өтеледі.

Көбік түзгіштің жоғары құрамындағы беріктіктің төмендеуі цементтің ылғалдануының баяулауына және цемент тасының құрылымының баяулауына байланысты. Қоспадағы көбіктендіргіштің көп тұтынылуымен төмен молекулалық заттардың мөлшері цементтің ылғалдануы айтарлықтай баяулайтын мөлшерге жетеді.

Қосымша ауа тарту күштің төмендеуіне де ықпал етеді. Егер қоспаның аз мөлшерімен цемент тасының кеуектілігінің жоғарылауы беріктікке айтарлықтай әсер етпесе, онда оңтайлы мөлшерден жоғары дозада тартылған ауаның жоғарылауы цемент тасының беріктігінің төмендеуіне әсер ететін қосымша фактор болып табылады.

Компоненттердің өзара әрекеттесу өнімдерін талдау және қатаю құрылымдарын қалыптастырудағы биоББЗ әсерінің рөлін анықтау үшін № 1, 2, 3 құрамдардың таблетка үлгілеріне рентгенофазалық талдау жүргізілді (2-кесте). ДРОН-2 дифрактометрінде иондаушы рентгенограммалар алынды.

2-кесте. Үлгілердің құрамы

№	Композиция құрамы, массасы бойынша %	С/Ц	Қоспа мөлшері, цемент массасының %	Қатаю шарттары
1	Цемент М500 (100 %)	0,3	0	қалыпты-ылғалдылық жағдайы
2	Цемент М500 (100 %)	0,3	0,3	қалыпты-ылғалдылық жағдайы
3	Цемент М500 (100 %)	0,3	1,0	қалыпты-ылғалдылық жағдайы

Ескерту – авторлар құрастырған

Цемент тасының № 1 үлгісінің рентгенограммасында қалыпты-ылғалдылық жағдайы 28 тәуліктен астам уақыт бойы қатайған, жазықтықаралық арақашықтықтары 3,04; 2,82; 1,88 Å болатын үш дифракциялық максимум тек кальций гидросиликаттарына жатқызылған. $d = 1,76 \text{ \AA}$ сызығы сумен әрекеттеспеген алит C_3S дәндері туралы ақпаратты тасымалдайды. 2,63 Å шыңы гидратталған цементте кальций оксиді гидратының $Ca(OH)_2$ аз мөлшерінің болуын көрсетеді. $d = (2,77; 2,74; 2,59) \text{ \AA}$ бар дифракциялық сызықтар түзілген кальций гидросиликаттары сияқты алитке жатады. Қалған дифракциялық максимумдар $CaCO_3$ береді, бірақ кальций гидраттарының максимумдары да қолданылады.

Бірдей жағдайда жасалған № 1, 2 және 3 үлгілердің рентгенограммаларын салыстыру № 1 және 2 үлгілердің дифракциялық максимумдарының қарқындылығы іс жүзінде бірдей екенін көрсетеді. Ал № 3 үлгіде № 1-мен салыстырғанда 3,04 Å жазықтық аралықтарындағы дифракциялық сызықтардың қарқындылығы күрт төмендеді, ал 2,82 және 1,87 Å жазықтық аралықтарындағы екі сызық мүлдем жоғалып кетті (олар кальций гидросиликатының фазасына жауап береді). 2,77 Å планетааралық қашықтықтан дифракциялық сызықтардың қарқындылығы, керісінше, өсті. Сондай-ақ, Å 2,59 және Å 1,26 желілерінің қарқындылығы күрт өсті, бұл цемент тасында реакциясы жоқ алиттің болуын көрсетеді. Осы үлгінің рентгенограммасында 1,98 Å планетааралық қашықтығы бар жаңа шың пайда болды. Алита цемент тасындағы сандық анықтау үшін $d = 1,76$ линия

сызығы ең қолайлы. № 1 үлгідегі ылғалдану реакциясына алиттің шамамен 80 %, ал № 3 үлгіде шамамен 65 % кірді. Осы жұмыстардан (Ramamurthy және т.б., 2016) 28 күннен кейін алиттің 83 % гидратация реакциясына түсетіні белгілі.

Жоғарыда айтылғандардан гидратация реакциясы көптеген қоспалармен айтарлықтай баяулайды, өйткені кальций гидросиликаттарынан алынған сызықтардың қарқындылығы төмендеді, ал кейбіреулері жоғалып кетті және алит фазасына жатқызылған сызықтардың қарқындылығы артты. Бұл $\text{Ca}(\text{OH})_2$ фазаларының саны өзгеріссіз қалғанын көрсетеді, өйткені бұл сызықтардың қарқындылығына қосымша әсер етпеді. Осылайша, ол цементтің ылғалдануын бәсеңдетіп қана қоймайды, сонымен қатар ылғалдану реакциясын біршама басқаша өткізеді, яғни гель түзілуінен емес, басқа кальций гидросиликаттарының түзілуінен, олар жазықтық аралық қашықтығы $1,98 \text{ \AA}$ болатын шыңның пайда болуына жатады. Мұны $2,77$ және $2,74 \text{ \AA}$ шыңдары арасындағы қарқындылықтың қайта бөлінуі де көрсетеді, өйткені № 1 бақылау үлгісіндегі максимум $2,77 \text{ \AA}$ интенсив қарқындылығы максимум $2,74 \text{ \AA}$ үлгісінен үлкен, ал № 3 үлгінің рентгенограммасында керісінше.

Рентгендік фазалық талдау деректері қоспаның мөлшері неғұрлым көп болса, цементтің силикат компоненттерінің ылғалдану жылдамдығы және неоплазмалардың (тоберморит гелі, кальций гидроксиді) түзілу қарқындылығы соғұрлым аз болатынын көрсетеді. Егер цемент тастағы силикат фазалары беріктіктің негізгі тасымалдаушылары болып табылатындығын ескеретін болсақ, онда осы ББЗ затты қолданған кезде ерітінді қоспасындағы үлкен дозалардан аулақ болу керек (Shintemirov және т.б., 2016; Mugahed, 2012). Тұтқыр массаның $0,1-0,4 \%$ ББЗ заттарды енгізу қоспасыз құраммен салыстырғанда неоплазмалар құрылымында айтарлықтай өзгерістерге әкелмейтінін атап өткен жөн.

БиоББЗ-тың цемент жүйесінде неоплазмалардың пайда болуына әсерін неғұрлым толық зерттеу мақсатында қатаюдың ерте кезеңдерінде – 1, 3, 7, 28 тәулікте цемент массасынан әртүрлі ББЗ заттардың құрамы бар ерітінді үлгілерін рентгенофазалық талдау деректері алынды және талданды (3-кесте).

3-кесте. Үлгілердің құрамы

№	Құрамы, салмағы бойынша %	С/Ц	Қоспаның мөлшері, цемент салмағы бойынша %	Кептіру шарттары
1	Цемент М500 (70 %) + мел (30 %)	0,3	0	қалыпты-ылғалдылық жағдайы
2	Цемент М500 (70 %) + мел (30 %)	0,3	0,4	қалыпты-ылғалдылық жағдайы
3	Цемент М500 (70 %) + мел (30 %)	0,3	0,8	қалыпты-ылғалдылық жағдайы

Ескерту – авторлар құрастырған

Бастапқы күйдегі байланыстырғыш ұнтақ қоспасының рентгендік дифракциялық суретінде ең айқын дифракциялық сызықтар CaCO_3 борына сәйкес келеді (ASTM стандарты бойынша $d = 3,035; 2,495; 2,285; 2,095; 1,9013; 1,67; 1,670$); алит – Ca_3SiO_5 ($3,04; 2,736; 2,590; 1,761 \text{ \AA}$). Сонымен қатар, ASTM файлында Са негізіндегі қосылыс туралы деректер бар. Негізгі дифракциялық сызықтардың орны белит сызықтарымен жақсы сәйкес келеді – $\beta\text{-}2\text{CaOSiO}_2$ ($d = 3,046; 2,744; 2,608; 2,282 \text{ \AA}$).

№ 1 үлгідегі қалыпты қатаюдың 1-ші күні бор құрылымына сәйкес келетін дифракциялық сызықтардың қарқындылығы іс жүзінде өзгеріссіз қалды, сондықтан бордың кристалдық торының құрылымында айтарлықтай өзгерістер болмайды, яғни бор іс жүзінде химиялық реакцияға қатыспайды. Бұл жағдайда барлық фазалардың дифракциялық сызықтары кішірек бұрыштарға қарай жылжиды, бұл жазықаралық қашықтықтардың

ұлғаюын көрсетеді. Осылайша, біз қазірдің өзінде 1-ші күні бор жасушаларының параметрлері тор түрінде айтарлықтай өзгеріссіз өседі деп қорытынды жасай аламыз. Цемент клинкерінің минералдарының құрылымында елеулі өзгерістер орын алады, бұл брагг бұрышы (θ) аймағындағы дублеттің және 24,25 бұрыштағы дифракция сызығының жоғалуы, сондай-ақ күрт төмендеуі (шамамен 4 есе).

№ 2 үлгіде 1-ші күні рентгендік дифракциялық суреттің барлық дерлік сызықтарының қарқындылығы мен жағдайы, біреуін қоспағанда, № 1 үлгі сызықтарының қарқындылығы мен орналасуына сәйкес келеді. Сонымен қатар № 2 үлгі үшін цемент құрылымына сәйкес келетін сызықтың қарқындылығы (бұрыш $18,4^\circ$) № 1 үлгіге қарағанда айтарлықтай аз, бұл сәйкес цемент фазасының еруінің үдеуін көрсетуі мүмкін, ол нақтылау мүмкін емес.

Қатығудың 1-ші күніндегі № 1 және № 3 үлгілердің рентгендік дифракция заңдылықтарын салыстыру брагг бұрышының 19° аймағында № 1 үлгіде бірінші дублет сызығының жоқ екенін көрсетеді, ал оның № 3 үлгідегі қарқындылығы $0,351 \cdot I_{\max}$; $0 = 20,1^\circ$ сызықтың қарқындылығы концентрацияның жоғарылауымен төмендейді және 24° бұрышта жаңа фазаның басқа сызығы пайда болады. Бұл реакция жылдамдығының өзгеруін, яғни қоспа концентрациясының жоғарылауымен цемент клинкерінің негізгі құрылымдық компонентінің еруінің баяулауын көрсетуі мүмкін.

7-ші күні № 1 үлгінің рентгендік дифракциялық суретінде кристалдық тордың көлемі ұлғаюын жалғастырады (сызықтар орнында кішірек бұрыштарға қарай шамалы қосымша ығысу байқалады). Бұл ретте құрылым жақсарады немесе цемент фазасының мөлшері артады, бұл цемент құрылымдарының дифракциялық сызықтарының қарқындылығының жоғарылауымен дәлелденеді ($d = 3,044$). Бор құрылымы сызықтарының салыстырмалы қарқындылығының өзгеруі байқалады, бұл оның құрылымындағы өзгерістерді көрсетеді. Қаттыданудың 7-ші күніндегі қоспасы бар және қоспасыз цемент тасының рентгендік сызбаларын салыстыру № 2 үлгідегі рентгендік суреттің барлық сызықтары тығыздалуды (нығыздауды) көрсететін үлкен брагг бұрыштарына сәл ығысатынын көрсетеді. Кристалдық жасушалар құрылымының, сәйкес құрылымның тығыздығының жоғарылауы № 2 үлгі үшін $17,1^\circ$ бұрыштағы сызықтың интенсивтілігі № 1 үлгіге қарағанда үлкен, ал № 3 үлгі үшін ол айтарлықтай аз. Бұл негізгі фаза көлеміндегі сәйкес өзгерістерді көрсетуі мүмкін.

Қорытынды. 28-ші күні № 1 және № 2 үлгілердің алынған рентгендік үлгілері іс жүзінде бірдей. № 3 және № 1 үлгілер үшін дифракциялық сызықтардың орны мен қарқындылығы бірдей, $17,1^\circ$ бұрыштағы біреуін қоспағанда, № 3 үлгі үшін қарқындылығы № 1 үлгіге қарағанда 20 % аз.

Рентгендік фазалық талдау цементтің гидратация дәрежесі беттік белсенді заттың мөлшеріне байланысты екенін көрсетеді. Көбік түзетін қоспаның концентрациясы ең алдымен цемент тасының сандық фазалық құрамына әсер ететіні анықталды. Гидрат фазаларының сапалық құрамы қоспаның құрамына қарамастан тұрақты болып қалады. Жоғары концентрацияларда ББЗ молекулалары бастапқы цементтің түйіршіктерінің бетінде және одан пайда болған гидрат фазаларында адсорбцияланады, бұл цемент гидратациясының баяулауымен бірге жүреді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Ғылыми мақаланы жазу процесінде генеративті ЖИ және оның көмегімен технологияны қолдану туралы хабарлама. Бұл жұмысты дайындау кезінде авторлар генеративті ЖИ қолданбады.

Әдебиеттер тізімі

Магдеев У.Х., Гиндин М.И. (1997). Ресурсосберегающая технология ячеистого бетона // Новое в строительном материаловедении: Юбилейный сборник кафедры «Строительные материалы и технологии». – М.: МГУПС. – С. 58-59.

- Сахаров Г.П. (1997). Эффективные материалы с повышенными теплозащитными и строительно-эксплуатационными свойствами // Новое в строительном материаловедении: Юбилейный сборник кафедры «Строительные материалы и технологии». – М.: МГУПС. – С. 74.
- Хархардин А.И., Веснин Л.С. (1999). Опыт освоения массового производства пенобетонных изделий // Строительные материалы. – № 2. – С. 30-31.
- Коротышевский О.В. (1999). Новая ресурсосберегающая технология по производству высокоэффективных пенобетонов // Строительные материалы. – 1999. – № 2. – С. 32-33.
- Граник Ю.Г. (1997). Теплоэффективные ограждающие конструкции жилых и гражданских зданий // Строительные материалы. - №2. – С.4-6.
- Цыремпилов А.Д., Беппе Р.Р., Заяханов М.Е. и др. (1999). Пенобетон на основе перлитовозвестково-гипсового вяжущего // Строительные материалы. – № 4. – С. 30.
- Монтаев С.А., Мизюряев С.А., Рыскалиев М.Ж., Изгалиев Е.Д. (2016). Исследование влияние пенобетона с химическими добавками // Научный журнал. Вестник Жезказганского университета имени О.А. Байконурова. – Жезказган, - №1(31). – С. 402-408.
- Меркин А.П. (1994). Ячеистые бетоны: научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строительные материалы. - №4.
- Гладков Д.И., Сулейманова Л.А., Калашников А.В. (1999). Новая технология ячеистобетонных изделий // Строительные материалы. - № 7-8. – С. 26-27.
- Черных В.Ф., Ницун В.И., Маштаков А.Ф. и др. (1998). Технологическая линия по производству пенобетонных изделий неавтоклавного твердения // Строительные материалы. - №12. – С.4-5.
- Гарнашевич Г.С., Гончарик В.Н. (2002). О теплофизических свойствах ячеистобетонных изделий // Строительные материалы и изделия. – Киев, - № 3. – С. 24-25.
- Соловьева В.Я. (2007). Особенности получения пенобетона улучшенного качества // Материалы международной научно-практической конференции «Пенобетон-2007». – Спб., – С. 7 – 9.
- Меркин А.П. (1994). Ячеистые бетоны: научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строительные материалы. - №4.
- 14 Mughahed Amran Y.H., Abang Ali A.A., Raizal S.M., Rashid et al. (2012). Structural behavior of axially loaded precast foamed concrete sandwich panels // Construction and Building Materials. – Vol. 107. - P. 307-320.
- Ахметов А.Р. (1992). Технология и свойства ячеистого бетона: учебное пособие // Респуб. издат. кабинет по учебной и методической литературе Министерства народного образования Республики Казахстан. – Алма-Ата. – 212 с.
- Ахундов А.А. (1998). Развитие индивидуального жилищного строительства как рычаг подъема экономики страны // Строительные материалы. – № 4. – С. 27-28.
- Сычева А.М., Попова Е.А., Дробышев Д.И., Филатов И.П. (2007). Активированное твердение пенобетонов / под ред. д.т.н. Л.Б.Сватовской. – Спб.: ПГУПС. – 62 с.
- Шинтемиров К.С., Рыскалиев М.Ж. (2015). Повышение активности цемента и песка для приготовления пенобетона естественного твердения / Сборник трудов международной конференции // Наука и Образование: проблемы развития строительной отрасли». – Саратов, – С. 36-47.
- Ramamurthy K., Nambiar E.K. Kunhanandan Ranjani G. (2016). A classification of studies on properties of foam concrete, Building Technology and Construction Management Division, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600036 // India, Indu Siva Cement & Concrete Composites. – Vol. 31. – Issue 6. – P. 388-396.
- Shintemirov K.S., Montaev S.A., Ryskaliyev M.Zh., Bakushev A.A., Narikov K.A. (2016). Investigation into the Properties of Foamed Concrete Modified by Chemical Additives // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (RJPBCS). – India, 2016. – № 7(3). – P. 2065-2072.
- Mughahed Amran Y.H., Abang Ali A.A., Raizal S.M., Rashid et al. (2012). Structural behavior of axially loaded precast foamed concrete sandwich panels // Construction and Building Materials. – Vol. 107. – P. 307-320.

Information about authors

Ryskaliyev Muratbay Zhanaidarovich – PhD, Zhangir Khan West Kazakhstan Khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan, [muratbai_84@mail.ru](mailto:муратбай_84@mail.ru) ORCID: 0000-0002-3361-2076

Zharylgapov Sabit Muratovich – PhD, Zhangir Khan West Kazakhstan Khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan, [Sabit.raisa@mail.ru](mailto:Сабит.раиса@mail.ru) ORCID: 0000-0002-3104-6568

Mazhitov Yerkebulan Bisengalievich – Ph.D., Zhangir Khan West Kazakhstan Khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan, mazhitov201090@gmail.com ORCID: 0000-0001-6155-4865

Kydyrashev adilzhan Bekezhonovich – PhD, Zhangir Khan West Kazakhstan Khan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan, a.kydrashov@mail.ru ORCID: 0000-0002-1404-1589