



DOI 10.51885/1561-4212_2025_4_259
FTAXP 67.15.01

КАЛЬЦИЙ СИЛИКАТЫНЫҢ ҚАСИЕТІНЕ АКТИВТІ МИНЕРАЛ ҚОСПАЛАРДЫҢ ӘСЕРІ

ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА СИЛИКАТА КАЛЬЦИЯ

THE INFLUENCE OF ACTIVE MINERAL ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF CALCIUM SILICATE

А.М. Байсариева *

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Анара Байсариева, e-mail: abajsarieva@mail.ru

Түйінді сөздер:

портландит,
рентгенографиялық
талдау, термограмма,
қатаюуы, байланыстырғыш
белсенділігі, зерттеу

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада минералды қоспалар қосылған цементтің беріктігін арттыру бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижелері берілген. Компоненттер таңдалды және олардың портланд цементінің гидратациясына әсері зерттелді. Қатаюуды тездету үшін белгілі әдістер мен тәсілдер талданған. Басқа авторлардың бұрын жүргізілген зерттеулерін талдау негізінде келесі компоненттер қарастырылды: темірлі, кварцты, карбонатты қоспалар. Тәжірибе кезінде рентгендік және термографиялық талдаулар 3,7 және 28 тәулік гидратация дәрежесі қарастырылды. Минералды компоненттерді қосу арқылы құрамында темірлі қоспа мөлшері 15 % 28 тәулікте 75,8 % жақсы нәтиже байқалды. Соған қарамастан соңғы шешуші шешім ретінде келесі сынақ нәтижелері карбонатты қоспалар қатаюуды 20 %-ға жоғарылату арқылы ең оңтайлы нәтиже, ал 7 күннен кейін қысу шегі 30 МПа, басқамен салыстырылғанда оң нәтиже бекітілді.

Ключевые слова:

портландит,
рентгенографический
анализ, термограмма,
твердение, активность
вещества, исследование.

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся результаты проведенных исследований набор прочности цемента с добавлением минеральных добавок. Были подобраны компоненты и исследованы их влияние на гидратацию портландцемента. Для ускорения твердения были проанализированы известные методы и подходы. На основании анализа ранее проведенных исследований других авторов были рассмотрены следующие компоненты: железистые, кварцевые, карбонатные. В ходе экспериментов рентгенографические, термографические анализы показали степень гидратации в возрасте 3,7 и 28 суток. Один из хороших показателей на 28 суток при добавлении минеральных компонентов составил 75,8 % при 15 % железа. Тем не менее, в качестве окончательного решения нижеследующие результаты испытаний подтвердили, что наиболее оптимальный результат был достигнут при увеличении твердения карбонатных смесей на 20%, а прочность при сжатии через 7 суток составила 30 МПа, что является положительным результатом по сравнению с другими.



Keywords:

portlanditis, radiographic analysis, thermogram, hardening, binder activity, examination

ABSTRACT

The article presents the results of the conducted research on the strength gain of cement with the addition of mineral additives. The components were selected and their effect on the hydration of Portland cement was studied. Known methods and approaches were analyzed to accelerate hardening. Based on the analysis of previously conducted studies by other authors, the following components were considered: ferrous, quartz, carbonate. During the experiments, X-ray and thermographic analyses showed the degree of hydration at the age of 3.7 and 28 days. One of the good indicators for 28 days with the addition of mineral components was 75.8% with 15% iron. However, as a final decision, the following test results confirmed that the most optimal result was achieved by increasing the hardening of carbonate mixtures by 20%, and the compressive strength after 7 days was 30 MPa, which is a positive result compared with others.

КІРІСПЕ

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 процестерді мақсатты түрде жетілдіру және реттеу, яғни активті компоненттерді пайдалану, құрамды бағытты түрде тиімдеу, химиялық қоспаларды қолдану, компоненттерді механикалық-химиялық өңдеу және басқа әлемдік озық технологиялық тәсілдерді қабылдау.

Цемент тасының құрылымы және оның беріктігінің қалыптасуы портландцементтің гидратациясы ерітінді бойынша да, сондай-ақ топохимиялық механизм бойынша да жүзеге асырылады. Портландцементтің реакциялық қабілеттілігіне кристалды торлардың ақаулары үлкен әсер етеді. Кристалдағы ақаулардың ұлғаюы арқылы қатаюшы жүйелердің химиялық белсенділігі өседі.

Өнеркәсіпте қоспалы цементті қолданудың тиімділігі, түсті металлургия қалдықтарының жыл сайын артуы, бұларды қоспа немесе толтырғыш ретінде қолдану мүмкіндіктері, сондай-ақ цементтің физика-механикалық қасиетін зерттеу ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады, сонымен қатар цемент өнеркәсібінде шикізат және отын-энергетикалық ресурстардың шығынын азайту жолындағы маңызды бағыттардың бірі болып табылады.

Зерттеуші жүргізу кезіндегі мақсаты әр түрлі компоненттерді, бірнеше түрлі мөлшерде қосу нәтижесінде, қатаюына байланысты қажетті компонент пен оның мөлшерін анықтау. Сол қоспаларды талдау арқылы қорытындылау.

Зерттеу әдістері мен материалдар. Зертханалық жағдайда C_3S таза күйінде қолдану арқылы, сонымен қатар әр түрлі белсенді минералды қоспаларды (темір құрамды, кварц құрамды, карбонат құрамды) C_3S салмағынан 15-30 % қосқандағы көрсеткіштері зерттелді. Нысананың бақылау үлгілері ретінде C_3S қоспасыз күйінде қабылданды. Құрылымдық және фазалық құрамын бағалау үшін рентгенофазалық талдау, термографиялық талдау, инфрақызыл спектроскопия және сканирлеуші электронды микроскоп көмегімен жүзеге асты.

Рентгенофазалық анализ C_3S гидратациялық өнімнің фазалық құрамын қатаюдың әртүрлі кезеңдегі көрсеткіші (3, 7, 28 және 360 тәулікке дейін) анықталды. $Ca(OH)_2$, C_3S гидраты, CSH үшін қарқынды өзгерісі талданды. Портландит түзілуінің көрсеткішінің



сызығы $d = 0,490$ нм, оның сызығының қарқынды өзгеріс мәні $d = 0,262$ нм қосымша кристалға өсуі байқады.

Гидратты фазаның ыдырау сәйкестігі бойынша термограмма эндоэффект көрсеткіштері: CSH_2 (200 °C температурада), $\alpha - C_2S$ -гидратта (540-760 °C температурада) және $CSH (I)$ (540-760 °C температурада). Әдіс қалыптасқан фазалардың болуын және тұрақтылығын растау және гидратация дәрежесін бағалау үшін пайдаланылды. Қатаю мерзімімен және қоспа түрімен салмағының 17,5-24,8 % төмендеуі байқалды.

Қатайған үлгілердің морфологиясын визуализация үшін сканерлеуші электронды микроскоп қолданылған. Цемент тасының кеуектерінде екінші реттік портландит кристалдарының түзілуі және CSH гелінің өсуі анықталды. Кристалл құрылымының эволюциясы қатаю уақытына және минералды қоспаның түріне байланысты байқалды.

Инфрақызыл спектроскопия көмегімен силикогель үшін сипаттағы жолақ ауысуы 840-1150 см⁻¹ мән арасындағы сіңуін көрсетті. Жолақ ауысуы 840-1150 см⁻¹ гидратация процесі прогрессивті түрде өзгерді.

Қоспалар C_3S -ке майда дисперсті ұнтақтар күйінде 5-30 % масса бойынша мөлшерде қосылды. Зерттеу нәтижесі бойынша темірқұрамды қоспа 15 %, кварцты 20 %, карбонатты 30 %. Осы мөлшерден жоғарлату беріктік қасиетін төмендетті.

Гидратация дәрежесі бастапқы C_3S -мен салыстырғанда гидратталған фазалардың үлесі ретінде рентгендік дифракция деректері мен термограммаларды пайдалана отырып анықталды. Қатаю мерзімі 3, 7, 28, 90, 180 және 360 тәулік бойынша деректер жалпыланып, сығу беріктік шегі ГОСТ бойынша анықталды.

Эксперимент бірнеше ретте жүргізілді. Алдын-ала C_3S -қа қосылған бірнеше әртүрлі қоспалар дайындалды. Ары қарай үлгілерді стандартты қатаю (ылғалдылығы 95 %, температура +20 °C) бекітілген мерзім аралығында ұстайды. Осы әрбір кезеңде дайын болған сынама кешенді талдауын өткізілген:

- Рентгенофазалық (фазық құрамы үшін),
- Термографиялық (су ұстау қабілеті мен фазалық тұрақтылығын бағалау үшін),
- Сканиреуші электронды микроскопия (микроқұрылымды қарастыру мақсатында),
- Инфрақызыл спектроскопия (химиялық байланысты талдау үшін).

Шыққан нәтижелер бақылау үлгі қоспасыз күйдегі C_3S құрылымы мен белсенділігі салыстыра бағаланды.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зертханалық жағдайда C_3S таза күйінде қолдану арқылы, сонымен қатар әр түрлі белсенді минералды қоспаларды (темір құрамды, кварц құрамды, карбонат құрамды) C_3S салмағынан 15-30 % қосқандағы көрсеткіштері зерттелді. Нысананың бақылау үлгілері ретінде C_3S қоспасыз күйінде қабылданды. Құрылымдық және фазалық құрамын бағалау үшін рентгенофазалық талдау, термографиялық талдау, инфрақызыл спектроскопия және сканиреуші электронды микроскоп көмегімен жүзеге асты.

Рентгенофазалық анализ C_3S гидратациялық өнімнің фазалық құрамын қатаюдың әр түрлі кезеңдегі көрсеткіші (3, 7, 28 және 360 тәулікке дейін) анықталды. $Ca(OH)_2$, C_3S гидраты, CSH үшін қарқынды өзгерісі талданды. Портландит түзілуінің көрсеткішінің сызығы $d = 0,490$ нм, оның сызығының қарқынды өзгеріс мәні $d = 0,262$ нм қосымша кристалға өсуі байқады.

Гидратты фазаның ыдырау сәйкестігі бойынша термограмма эндоэффект көрсеткіштері: CSH_2 (200°C температурада), $\alpha - C_2S$ -гидратта (540-760 °C температурада) және $CSH (I)$ (540-760°C температурада). Әдіс қалыптасқан фазалардың болуын және тұрақтылығын растау және гидратация дәрежесін бағалау үшін пайдаланылды. Қатаю мерзімімен және қоспа түрімен салмағының 17,5-24,8 % төмендеуі байқалды.



Қатайған үлгілердің морфологиясын визуализация үшін сканерлеуші электронды микроскоп қолданылған. Цемент тасының кеуектерінде екінші реттік портландит кристалдарының түзілуі және CSH гелінің өсуі анықталды. Кристалл құрылымының эволюциясы қатаю уақытына және минералды қоспаның түріне байланысты байқалды.

Инфрақызыл спектроскопия көмегімен силикогель үшін сипаттағы жолақ ауысуы 840-1150 см – 1 мән арасындағы сінуін көрсетті. Жолақ ауысуы 840-1150 см – 1 гидратация процесі прогрессивті түрде өзгерді.

Қоспалар C3S-ке майда дисперсті ұнтақтар күйінде 5-30 % масса бойынша мөлшерде қосылды. Зерттеу нәтижесі бойынша темірқұрамды қоспа 15 %, кварцты 20 %, карбонатты 30 %. Осы мөлшерден жоғарлату беріктік қасиетін төмендетті.

Гидратация дәрежесі бастапқы C₃S-мен салыстырғанда гидратталған фазалардың үлесі ретінде рентгендік дифракция деректері мен термограммаларды пайдалана отырып анықталды. Қатаю мерзімі 3, 7, 28, 90, 180 және 360 тәулік бойынша деректер жалпыланып, сығу беріктік шегі ГОСТ бойынша анықталды.

Эксперимент бірнеше ретте жүргізілді. Алдын-ала C₃S-қа қосылған бірнеше әртүрлі қоспалар дайындалды. Ары қарай үлгілерді стандартты қатаю (ылғалдылығы 95 %, температура +20 °C) бекітілген мерзім аралығында ұстайды. Осы әрбір кезеңде дайын болған сынама кешенді талдауын өткізілген:

- Рентгенофазалық (фазық құрамы үшін),
- Термографиялық (су ұстау қабілеті мен фазалық тұрақтылығын бағалау үшін),
- Сканирлеуші электронды микроскопия (микроқұрылымды қарастыру мақсатында),
- Инфрақызыл спектроскопия (химиялық байланысты талдау үшін).

Шыққан нәтижелер бақылау үлгі қоспасыз күйдегі C3S құрылымы мен белсенділігі салыстыра бағаланды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Рентгенографиялық сараптамаларда көрсеткендей (1 кесте) қоспасыз C₃S 3 және 7 тәуліктік мерзімде негізінен Ca(OH)₂, j – гидраттан C₂S, тоберморит тәріздес гидросиликаттан CSH₂ және гидратталынбаған C₃S тұрады. Бұл жаңа түзілістердің болатындығын термографиялық талдаулар да дәлелдейді (1.б сурет).

28 тәуліктік мерзімде 50, 62,3 және 71,5 % сәйкес 3,7 және 28 тәуліктен кейін C₃S гидратация дәрежесінің артуымен қоса гидратталынбағандардың мөлшері азаяды.

1-кесте. C₃S гидратану дәрежесіне активті минерал қоспалардың әсері

Қоспа, % мөлшері	Гидратация дәрежесі, тәуліктен кейінгі пайыз		
	3	27	28
Қоспасыз	50	62,3	71,5
Құрамында темірі бар, 15	54	65,7	75,8
Құрамында карбонаты бар, 30	52,4	61,4	74,0
Құрамында кварцы бар, 20	58,4	66,7	70,4

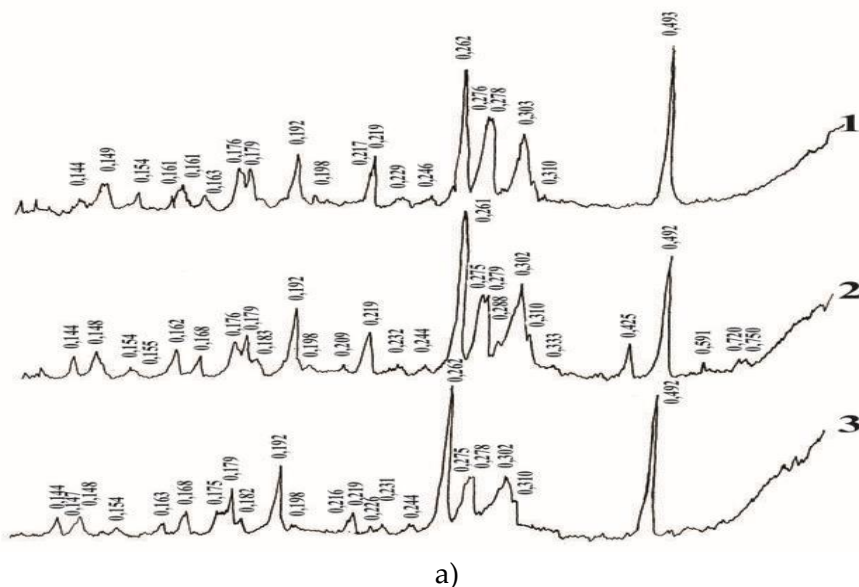
Ескерту – автор (Байсариева, 2025) негізінде құрастырған

C₃S рентгенограммада 3 тәулік ішінде гидратталған c,d = 0,262 нм сызыққа қарағанда (1-сурет) Ca(OH)₂ c,d = 0,490 нм сызық жиілігі жоғары болып келеді.

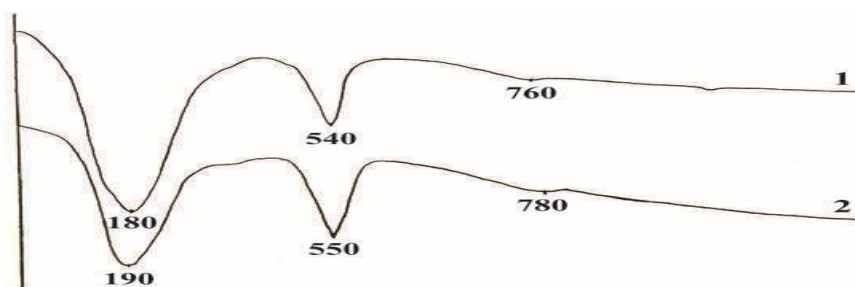
C₃S алдағы уақытта гидратациясы кезінде d = 0,262 нм сызығының жиілігі өседі, 28 тәулік қатаюдан соң рентгенограммада бұл сызықтар жиілігінің теңелуі бақыланады. Бұл портландиттің ұсақ екінші кристалдарының түзілуін көрсетеді.



Портландиттің бөлінуі кезінде реакцияның жоғары жылдамдығы және жылудың көп мөлшерде бөлінуі, гидратация өнімдерінің арасындағы оның басым болып тұратын қалпы, уақыт өте кристалдарының өсуге бейімділігі, C_3S тасының беріктік сипатына және басқа да қасиеттеріне теріс әсерін тигізеді. Сондай-ақ C_3S тасының қасиетіне $O^{2-} + H_2O \rightarrow 2OH^-$ схемасы бойынша өтетін O^{2-} C_3S иондарының протондану процесінің жиілігіне де теріс әсерін тигізеді. Қарастырылған кері ықпалдарды болдырмау үшін және протонизация процесінің жылдамдығын азайту мақсатында CaO торының тетраэдрлік қуыстарына Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} және басқа (Cheng Liu, Mingzhong Zhang, 2021) иондарды енгізуге болады. Бұл иондар портландит құрылымына ғана енгізілмейді, сондай-ақ ядролы гамма-резонансты зерттеулер көрсеткендей (Мессбауэр тиімділігі) (Wachira, 2019) CSH құрамына енгізілді. Минералдар мен цементті клинкерлер құрамына минералды кристалданған қоспаларды қосу осы жағдаймен тығыз байланысты. Құрамында темірі бар қоспалардың оптималды мөлшері кезінде (C_3S массасының 15 %) тас гидротациясының дәрежесі осыған сәйкес 3,7 және 28 тәуліктен соң 54, 65, 7 және 66,8 құрайды (1 кесте). Сонымен, C_2S және CSH_2 гидратынан $Ca(OH)_2$ басқа $C_2S_2H_2$ ($d = 0,64; 0,424; 0,354; 0,335; 0,229; 0,212$ нм, $800^\circ C$ кезінде эндоэффект) түзіледі (3, 4-суреттер). Портландит сызықтарының жиілігі аз және 3, 7, 28 тәуліктен соң мөлшері 11,5; 12,7 және 21,3 % құрайды (2-кесте).



а)



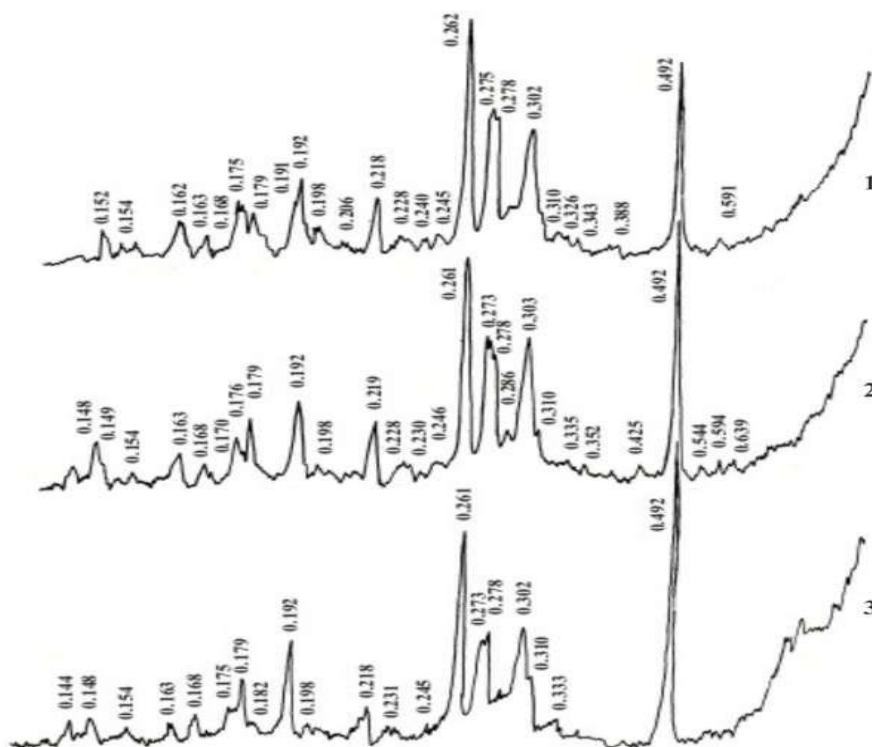
б)

1-сурет. 1,2 және 3 - 3,7 және 28 тәулік қалыпты жағдайда қатайған C_3S тастың рентгено – (а) және термограммалары (б)

Ескерту – автор Байсариева А.М. (2025) деректері негізінде құрастырған

C₃S алдағы уақытта гидратациясы кезінде d=0,262 нм сызығының жиілігі өседі, 28 тәулік қатаюдан соң рентгенограммада бұл сызықтар жиілігінің теңелуі бақыланады. Бұл портландиттің ұсақ екінші кристалдарының түзілуін көрсетеді.

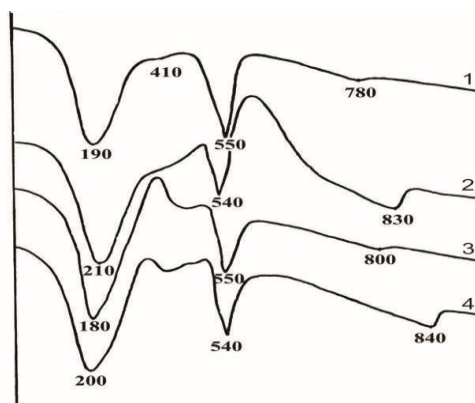
Құрамында темірі бар қоспалардың оптималды мөлшері кезінде (C₃S массасының 15%) тас гидротациясының дәрежесі осыған сәйкес 3,7 және 28 тәуліктен соң 54, 65, 7 және 66,8 % құрайды (1 кесте). Сонымен, C₂S және CSH₂ гидратынан Ca(OH)₂ басқа C₂S₂H₂ (d =0,64; 0,424; 0,354; 0,335; 0,229; 0,212 нм, 800 °C кезінде эндоэффект) түзіледі. Портландит сызықтарының жиілігі аз және 3,7, 28 тәуліктен соң мөлшері 11,5; 12,7 және 21,3 % құрайды (2-кесте).



2-сурет. 1,2 және 3 – 3,7 және 28 тәуліктік мерзімде гидратталған, құрамында 15 % темір қоспасы бар C₃S рентгенограммасы

Ескерту – автор Байсариева А.М. (2025) деректері негізінде құрастырған

Құрамында 15 % темір қоспасы бар C₃S рентгенограммада 3 тәуліктік қатаю мерзімінде d=0,262 сызығының жиілігі d=0,490 нм сызығына қарағанда жоғары. 7 тәуліктен бастап d=0,490 сызығының жиілігі жоғары, қатаюдың 28-тәулігінде d=0,490 және 0,262 нм сызықтарының интегралды жиіліктерінің қатынасы 1,9 құрайды. 0,262 нм сызығымен салыстырғанда d =0,490 сызығының жиілігі жасырын, бұл деректер (Singh, Kumar & Singh, 2016) портландит кристалдарының тиімді бағыттарда пайда болғанын дәлелдейді.



3-сурет. 1-қоспасыз; 2,3 және 4 – 15 % темірлі, 20 % кварцты және 30 % карбонатты қоспалар қосылған, 28 тәулік гидратталған C_3S термограммалары
Ескерту – автор Байсариева А.М. (2025) деректері негізінде құрастырған.

C_3S құрамына кварцы бар қоспа (20 % дейін) енгізгенде $C_2S_3H_2$ тән $d = 0,336$ нм сызығының жиілігі өсіп, $Ca(OH)_2$ мөлшері азаяды. C_3S тасындағы портландит мөлшері 28 тәуліктік қатаю мерзімінде 23 % тең, ал құрамында 20 % кварцы бар қоспамен 17,3 (2-кесте).

2-кесте. Гидратталған C_3S тастағы $Ca(OH)_2$ мөлшеріне қоспа түрлерінің әсері

Қоспа түрі, %	$Ca(OH)_2$, тәуліктен кейінгі %:			
	3	7	28	90
Қоспасыз	12,7	15	23,6	25,9
Құрамында темірі бар, 15	11,5	12,7	21,3	23,96
Құрамында кварцы бар, 20	13,1	13,4	17,3	16,03
Құрамында карбонаты бар, 30	9,4	16,9	18,1	16,86

Ескерту – автор (Байсариева, 2025) негізінде құрастырған

Құрамында кварцы бар қоспалы C_3S гидратациясының жоғары дәрежесі активті портландитті түзе алады.

Құрамында карбонаты бар қоспа C_3S гидратациясының өнімдеріндегі фаза құрамын өзгертеді. Құрамында 20-30 % карбонаты бар қоспалы C_3S тасының рентнограммаларында C_2S α – гидратының сызықтары айқын көрінеді ($d=0,354; 0,267; 0,277; 0,260; 0,241; 0,218; 0,208; 0,197; 0,178$ нм және $900^\circ C$ эндоэффект, $CSH (I)$ ($d =0,307; 0,280; 0,183; 0,167$ нм және $810-820^\circ C$ болған жағдайдағы эндоэффект 104 және $BSH (I)$ ($d = 0,217; 182; 0,142$ нм және $360-420^\circ C$ эндоэффект болған жағдайдағы сатылы гидраталынбаған минералдар). Қатаю мерзімінің артуына байланысты $CSH (I)$ мөлшері де өсіп отырады, бұл $Ca(OH)_2$ мөлшерінің азаюымен қоса жүреді (2-кесте). Құрамында карбонаты бар қоспаларды енгізген C_3S гидратациясының дәрежесі өзгермейді. 3 және 7 тәуліктік қатаю мерзімінен кейін құрамында карбонаты бар қоспалы C_3S гидратациясының дәрежесі 52,4 % және 61,4 % құрайды. Дегенмен, 28 тәуліктік қатаю мерзімінде қоспалы гидратация дәрежесі 74,0, ал қоспасыз гидратация дәрежесі 71,5 % (3-кесте).

C_3S гидратациясының дәрежесіндегі фаза құрамының жоғарыда көрсетілген өзгерістері оның активтілігіне үлкен әсер етеді.

Қоспаларды енгізу нәтижесінде C_3S активтілігі артуының белгілі бір шегі бар (темір, кварц және карбонат жалпы массаның 15, 20, 30 %).



Енгізілтің қоспа мөлшерін әрі қарай арттыру C_3S тасының беріктік қасиетін (30-40% дейін) төмендетеді.

Құрамында темірі бар қоспаның үйлесімді мөлшерін қосу кезінде 3 және 7 тәуліктік мерзімде активтілік 38 және 28,5% өседі. 7 ИК – спектрлер көрсеткендей құрамында темірі бар қоспалы және қоспасыз C_3S тастағы қатаю процесінде негізінен болатын өзгерістер бірдей ($840-1150 \text{ см}^{-1}$ болған жағдайдағы сіңірудің кең спектрлері). 3 тәулікте қатайған құрамында темірі бар қоспаны енгізу кезінде жолақтың 940 см^{-1} жылжығандығы, 7 тәулікте гидратацияның бастапқы жылдамдығының жоғары болатындығын дәлелдейтін 1010 см^{-1} жылжығандығы байқалады.

3-кесте. C_3S активтілігіне қоспаның мөлшері мен түрлерінің әсері

Қоспа түрі	Қоспа мөлшері, %	Сығу кезіндегі беріктік шегі (МПа) тәуліктен кейін			
		3	7	28	90
Қоспасыз	-	18	21	46	60
Құрамында темірі бар	5	20	23	43	60,5
	10	23	25,5	49	57
	15	25	27	52	61,5
	20	16	24	44	57,5
	30	13	18	42	52
Құрамында кварцы бар	5	15	22	45	54
	10	16	24	46	50
	15	18	27,5	48	53,0
	20	16	24,8	46	57,0
	30	13	23	43	45
Құрамында карбонаты бар	5	16	20	40	50
	10	13	15	44	47
	15	11	12,0	42,5	48,5
	20	19	30	62,5	63,5
	30	16	26	52,5	70,5
	40	12	20	43	47

Ескерту – автор (Байсариева, 2025) негізінде құрастырған

Құрамында темір оксиді бар шыны тәріздес шлак, қалыпты температура кезінде ериді және гидролизге ұшырайды. C_3S гидратациясының өнімі портландит орта рН көтеретін су мен құрамында темірі бар қоспаның өзара әрекеті процесін катализдейді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу портландцемент құрамындағы C_3S гидратация процесіне түрлі минерал қоспаларының әсерін қарастырады. Гидратация процесі кезінде түзілетін өнімдердің кристалдық және аморфтық күйі, сондай-ақ олардың цемент тасының беріктігіне ықпалы рентгенографиялық, термографиялық және электронды микроскопиялық әдістер арқылы талданды.

Зерттеу барысында:

– Темір, кварц, және карбонат қоспалары C_3S гидратациясының жылдамдығы мен дәрежесіне әсер ететіні анықталды;

– Темірлі қоспа (15 %) гидратация өнімдерінің құрылымын жетілдіріп, беріктік қасиеттерін 3-7 тәулікте айтарлықтай арттырған;

– Кварцты қоспалар аморфты портландиттің түзілуін жеделдетіп, ұзақ мерзімді



беріктікті жоғарылатқан;

– Карбонатты қоспалар тұрақты CSH I түзілуін ынталандырып, беріктік пен тығыздықты арттырған;

Портландиттің артық мөлшері мен кристаллдық формасы кері әсер беретіндігі көрсетілді, оны болдырмау үшін Si^{4+} , Al^{3+} , Fe^{3+} иондары енгізілді.

C_3S гидратациясының тиімділігіне минерал қоспаларының әсері дәлелденді. Темірлі қоспалар (15%) бастапқы қатаю кезеңінде реакция жылдамдығын арттырып, портландит түзілуін төмендетеді, бұл тығыз құрылым алуға мүмкіндік береді. Кварцты қоспалар аморфты және активті портландиттің түзілуін ынталандырып, ұзақ мерзімді беріктікке оң әсер етеді. Карбонатты қоспалар CSH I тәрізді гидраттардың көбеюіне әкеледі, нәтижесінде беріктік пен су тұтыну артады. Қоспалардың оң әсері белгілі бір шекпен шектеледі: артық мөлшерде енгізілгенде (30-40 %) C_3S активтілігі мен беріктігі төмендейді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Cheng Liu, Mingzhong Zhang. (2021). Effect of curing temperature on hydration, microstructure and ionic diffusivity of fly ash blended cement paste: A modelling study. *Construction and Building Materials*, 297(9), 123834. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123834
- Jackson Muthengia Wachira. (2019). Effects of Chlorides on Corrosion of Simulated Reinforced Blended Cement Mortars. *International Journal of Corrosion*, 2019, Article ID 2123547. <https://doi.org/10.1155/2019/2123547>
- Lakhibir Singh, Arjun Kumar, Anil Singh. (2016). Study of Partial Replacement of Cement by Silica Fume. *International Journal of Advanced Research*, 4(7), 104-120. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01>
- N. Puspita, A.I. Hani'a, M. Fauzi. (2020). The effect of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) on Portland cement type II to compressive strength of high quality concrete. *ICIEVE 2019. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/830/2/022068
- Shoaib M.M., Balaha M.M., Abdel-Rahman A.G. (2000). Influence of cement kiln dust on the mechanical properties of concrete. *Cem. Concr. Res.*, 30, 371-377. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00262-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00262-8)
- Wang J., Du P., Zhou Z. (2019). Effect of nano-silica on hydration, microstructure of alkali-activated slag. *Construction and Building Materials*, 220, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.158>
- Ахметжанов Т.Б., Толеубаева Ш.Б., Даненова Г.Т., Кенетаева Г.К. (2020). Структура минеральных добавок цементного камня и его влияние на формирование прочности. «Актуальные научные исследования в современном мире»: Журнал, В1(57) ч.1, 17-20 // Akhmetzhanov T.B., Toleubaeva Sh.B., Danenova G.T., Kenetaeva G.K. Struktura mineral'nykh dobavok tsementnogo kamnya i ego vliyanie na formirovanie prochnosti. «Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire»: Zhurnal, V1(57) ch.1, 17-20. [Structure of Mineral Additives in Cement Stone] (In Russ.)
- Байсариева А.М., Толеубаева Ш.Б., Смагулова Р.К. (2020). Эффективные модифицированные бетоны в строительстве. «Актуальные научные исследования в современном мире»: Журнал, Выпуск 9(65) ч.1, 84-87 // Baisarieva A.M., Toleubaeva Sh.B., Smagulova R.K. Effektivnyye modifitsirovannyye betony v stroitel'stve. «Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire»: Zhurnal, Vypusk 9(65) ch.1, 84-87. [Effective Modified Concretes in Construction] (In Russ.)
- Величко Е.Г., Шумилина Ю.С., Талипов Л.Н. (2020). Многокомпонентность – основной фактор формирования структуры и свойств высокопрочных бетонов. *Строительство и реконструкция*, 2020(2/88), 16-24. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-16-24> // Velichko E.G., Shumilina Yu.S., Talipov L.N. Mnogokomponentnost' – osnovnoy faktor formirovaniya struktury i svoystv vysokoprochnykh betonov. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*, 2020(2/88), 16-24. [Multicomponent Effect in High-Strength Concrete] (In Russ.)
- Жилкибаева А.М., Естемесова А.С., Жакипбеков Ш.К., и др. (2021). Влияние комплексной минеральной добавки на гидратацию алита. *ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси*, 3(64), 84-92 // Zhilkibaeva A.M., Estemesova A.S., Zhakipbekov Sh.K., et al. Vliyanie kompleksnoy mineral'noy dobavki na gidratsiyu alita. *ALITinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi*, 3(64), 84-92. [Effect of Complex Mineral Additive on Alite Hydration] (In Russ.)
- Каддо М.Б., Филимонова Ю.С. (2020). Исследование комплексной модификации тяжелого бетона. *Техника и технология силикатов*, №1, 37-44. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112> //



- Kaddo M.B., Yu.S. Filimonova. Issledovanie kompleksnoy modifikatsii tyazhelogo betona. Tekhnika i tekhnologiya silikatov, №1, 37-44. [Complex Modification of Heavy Concrete] (In Russ.)
- Нұрымбетов Б.Ч., Түремұратов Ш.Н., Жуков А.Д., Асаматдинов М.О. (2016). Влияние тонкодисперсного наполнителя на процессы образования силикатов кальция. Вестник МГСУ, 12(4/103), 446-451. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2017.4.446-451> // Nurymbetov B.Ch., Turemuratov Sh.N., Zhukov A.D., Asamatdinov M.O. Vliyanie tonkodispersnogo napolnitelya na protsessy obrazovaniya silikatov kal'tsiya. Vestnik MGSU, 12(4/103), 446-451. [Effect of Fine Filler on Calcium Silicate Formation] (In Russ.)
- Ткач Е.В., Шумилина Ю.С. (год). Оптимизация параметров получения дисперсных цементных систем. // В сб.: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования, 269-276 // Tkach E.V., Shumilina Yu.S. Optimizatsiya parametrov polucheniya dispersnykh tsementnykh sistem. // In: Aktual'nye problemy stroitel'noy otrasli i obrazovaniya, 269-276. [Optimization of Dispersed Cement Systems] (In Russ.)
- Толубаева Ш.Б., Аубакирова Б.Б. (2018). Бетонды дайындау технологиясы. // Global Science and Innovations 2018: Central Asia, III International Scientific Practical Conference, Astana, 598-602 // Toleubaeva Sh.B., Aubakirova B.B. Beton dy daiyndau tekhnologiyasy. // Global Science and Innovations 2018: Central Asia, III International Scientific Practical Conference, Astana, 598-602. [Concrete Preparation Technology] (In Kaz.)
- Толубаева Ш.Б., Аубакирова Б.Б. (2020). Бетон өндірісінде суды редуциялайтын әсері бар қоспаларды қолданудың ғылыми-техникалық алғышарттары. // International Scientific Conference «Global Science and Innovations 2020», Conference Proceedings, Tashkent, 223-226 // Toleubaeva Sh.B., Aubakirova B.B. Beton ondirisinde sudy reduktsiyalayтын aseri bar qospalardy qoldanudyn gylimi-tekhnikalik algyshtararty. // International Scientific Conference «Global Science and Innovations 2020», Tashkent, 223-226. [Scientific and Technical Prerequisites for Using Water-Reducing Additives in Concrete] (In Kaz.)
- Ципурский И.Л., Коконова А.А., Данилова Е.Д., Ковченко И.В., Руденко М.И. (2018). Доменные гранулированные шлаки при производстве многокомпонентных цементных систем: технология производства и особенности применения. Интернет-журнал «Транспортные сооружения», №1. DOI: 10.15862/18SAT5118 // Tsipurskiy I.L., Kokonova A.A., Danilova E.D., Kovchenko I.V., Rudenko M.I. Domennyye granulirovannyye shlaki pri proizvodstve mnogokomponentnykh tsementnykh sistem: tekhnologiya proizvod.

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Байсариева Анара Мырзакуловна – техника ғылымдарының магистрі, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

Байсариева Анара Мырзакуловна – магистр технических наук, Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

Baisariyeva Anara Myrzakulovna – Master of Technical Sciences, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

e-mail: abajsariyeva@mail.ru, abaysariyeva@mok.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7473-8820>