

Досліджено вплив хімічної добавки на основі продуктів переробки полімерної фракції твердих побутових відходів, на процеси тужавлення та тверднення цементів. Виявлено, що добавка пришвидшує тужавлення і тверднення цементу за нормальних та низьких температур, а основний ефект від застосування добавки залежить від її концентрації, типу цементу та температурних умов

Ключові слова: хімічна добавка, прискорювач тужавлення і тверднення цементу, полімерна фракція твердих побутових відходів, міцність на стиск, швидкість гідратації, кількість зв'язаної води

Исследовано влияние химической добавки на основе продуктов переработки полимерной фракции твердых бытовых отходов, на процессы схватывания и твердения цементов. Доказано, что добавка ускоряет схватывание и твердение цемента при нормальных и низких температурах, а основной эффект от использования добавки зависит от ее концентрации, типа цемента и температурных условий.

Ключевые слова: химическая добавка, ускоритель схватывания и твердения цемента, полимерная фракция твердых бытовых отходов, прочность на сжатие, скорость гидратации, количество связанной воды

ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНОЇ ДОБАВКИ, ЯКА СКЛАДАЄТЬСЯ З ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ПОЛІМЕРНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ, В ЯКОСТІ ПРИСКОРЮВАЧА ТВЕРДНЕННЯ ЦЕМЕНТУ

Г. Ю. Флейшер
Аспірант*

E-mail: watrushkoo@mail.ru

В. В. Токарчук

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: tokarchuk.volodya@yandex.ua

В. А. Свідерський

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: xtkm@kpi.ua

*Кафедра хімічної технології композиційних матеріалів
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Тенденція розвитку індустрії бетону та залізобетону характеризується пошуком шляхів зниження матеріальних, енергетичних та трудових витрат, інтенсифікації технологічних процесів, підвищення міцності, довговічності виробів та конструкцій за рахунок різноманітних технологічних рішень. Найбільш розповсюдженим та ефективним технологічним рішенням є використання хімічних добавок – модифікаторів властивостей бетонних сумішей.

Добавки, які прискорюють тужавлення та тверднення цементу, дозволяють підвищити продуктивність заводів по виробництву бетонних та залізобетонних виробів, збільшити обертовість форм, економити цемент, знизити витрату енергії на пропарювання. Такі добавки можна застосовувати при бетонуванні в холодну погоду тому, що сильне підвищення ранньої міцності бетону при низькій температурах сильно полегшує догляд за бетонною сумішшю та знижує період набуру бетону критичної міцності.

Через все зростаючі вимоги до якості та довговічності бетонних виробів, виходить із широкого застосування

ряд ефективних прискорювачів тверднення, наприклад, хлорид кальцію. Тому багато досліджень зосереджені на пошуку ефективних безхлоридних добавок і актуальною задачею є розробка альтернативних прискорювачів тверднення, які б були не менш ефективними за вже відомі і не мали б негативного впливу на якість бетону.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Згідно сучасних уявлень існують три типи хімічних добавок, які впливають на фізико-хімічні процеси тверднення цементів: прискорювачі тужавлення, прискорювачі тверднення та добавки, які збільшують міцність. Вимоги, згідно яких добавки відносяться до того чи іншого типу, наведені в [1].

До недавнього часу хлорид кальцію був чи не єдиним широко розповсюдженим прискорювачем тверднення не лише в умовах нормальних температур, а й під час зимового бетонування. Однак, хлоридні добавки в бетоні в поєднанні з водою та киснем повітря можуть прискорювати швидкість корозії сталі, наприклад, арматурних стержнів, листів та каркасів [2].

Спочатку для подолання даної проблеми вміст хлоридних добавок в бетоні обмежували, але згодом від них зовсім відмовилися. На сьогодні безхлоридні прискорювачі представлені триетаноламіном, триізопропаноламіном, нітратом [3], нітритом та форміатом кальцію та їх сумішами в різних співвідношеннях.

Триізопропаноламін здатен прискорювати тверднення цементів в різні терміни та збільшувати марочну міцність в середньому на 10 % [4].

Нітрат кальцію є прискорювачем тужавлення та тверднення і застосовується як протиморозна добавка. Недоліками використання нітрату є залежність його впливу на прискорення тверднення від мінералогічного складу цементу та температурних умов [5].

Крім індивідуальних хімічних сполук запропоновано використовувати відходи металургійної промисловості – сольові (мінералізовані) стоки в поєднанні з інгібітором корозії. В кількості 2–4 мас. % добавка ефективно прискорює тужавлення цементу та сприяє збільшенню міцності [6].

Використання відходів промисловості викликає особливий інтерес, оскільки в такому випадку можна не лише отримати ефективну хімічну добавку, а й вирішити проблему утилізації даного конкретного відходу.

3. Цілі та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету визначити, чи можна віднести експериментальну добавку ДОР № 1 до класу добавок-прискорювачів тужавлення і тверднення цементу, а також виявити механізм впливу ДОР № 1 на фізико-хімічні процеси гідратації.

Проведені дослідження ставили за мету визначити, чи можна використовувати хімічну добавку ДОР № 1, отриману шляхом переробки полімерної фракції твердих побутових відходів, в якості прискорювача тверднення і тужавлення цементів.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– визначити, як впливає добавка ДОР № 1 на процеси тужавлення та тверднення цементу, для чого визначалися терміни тужавлення та міцність на стиск зразків-кубів з цементного каменю; дослідження проводилося на однакових цементах в літніх та зимових умовах;

– визначити механізм впливу добавки на гідратацію цементу, для чого проводилося визначення кількості зв'язаної води в зразках гідратованих цементів; дане дослідження проводилося в літніх умовах і зразки зберігалися при температурі 20–25 °С.

4. Матеріали та методи дослідження по визначенню впливу добавки ДОР № 1 на властивості цементів та механізм гідратації

Добавка ДОР № 1 є продуктом переробки полімерної фракції (тари) твердих побутових відходів і складається з суміші амідів та амонійних солей терефталевої кислоти [7, 8].

Для оцінки впливу добавки ДОР № 1 на тверднення цементу було обрано ряд цементів від різних виробників: ПЦ–І/500 виробництва ВАТ «Івано-Фран-

ківськцемент» (ІФЦ М500), ПЦ–І/500 виробництва ВАТ «Миколаївцемент» (МЦ М500), ПЦ–ІІ/А–Ш 400 виробництва ВАТ «Миколаївцемент» (МЦ М400), ПЦ–ІІ/А–Ш 400 – Н виробництва ВАТ «Івано-Франківськцемент» (ІФЦ М400).

Добавка вводилася до кульового лабораторного млина у вигляді 50 %-го водного розчину і перемішувалася з цементом протягом 7 хв.

Нормальна густина та терміни тужавлення визначалися на міні-приладі Віка за методикою [9]. Міцність на стиск визначалася для зразків-кубиків з цементного тіста з розміром граней 20 мм [9].

Для оцінки швидкості гідратації цементу використовувалася методика визначення кількості зв'язаної води [9, 10]. Для цього відповідним чином підготовані зразки випалювалися в муфельній лабораторній печі при температурах 250, 550 та 1000 °С, після чого вимірювалася втрата маси.

5. Результати дослідження впливу добавки ДОР № 1 на властивості цементу та механізм гідратації

5.1. Дослідження впливу добавки ДОР № 1 на фізико-механічні властивості цементу

Для дослідження ефективності добавки ДОР № 1 як прискорювача тверднення зразки цементу зберігалися в умовах нормальних температур (20–25 °С) та в умовах зимових температур (6–8 °С).

Вплив добавки ДОР № 1 на фізико-механічні властивості цементу МЦ М500 при нормальних умовах наведено в табл. 1, а при умовах низьких температурах – в табл. 2.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості цементу МЦ М500 з добавкою ДОР № 1 (температура 20–25 °С)

Концентрація ДОР №1, мас. %	Нормальна густина, %	Терміни тужавлення, год-хв		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
		початок	кінець	1	3	28
0	27,0	0–50	1–45	17,5	33,6	50,8
0,1	27,0	0–55	1–50	18,5	30,1	47,8
0,5	26,5	0–35	1–45	18,8	30,8	45,0
1,0	24,5	0–30	1–55	17,1	27,4	41,2
1,5	23,5	0–30	2–15	16,4	26,6	34,2

Спостерігається невелике збільшення міцності на 1 добу тверднення для цементів з 0,1–0,5 мас. % добавки. В подальшому по мірі збільшення концентрації ДОР № 1 міцність цементу зменшується. При цьому початок тужавлення прискорюється, а кінцеві терміни тужавлення майже не змінюються.

На 1–3 добу помітного прискорення тверднення цементів з добавкою не спостерігається. Для зразків з 0,1 мас. % збільшується марочна міцність на 19 %.

Прискорення тужавлення спостерігається для зразків з 0,1–1,0 % ДОР № 1. Для цементу з 1,5 % добавки тужавлення сповільнюється.

Загалом не виявлено суттєвого впливу ДОР № 1 на пришвидшення тверднення цементу МЦ М500, але добавка прискорює тужавлення.

Вплив добавки ДОР № 1 на фізико-механічні властивості цементу МЦ М400 при нормальних умовах

наведено в табл. 3, а при умовах низьких температура – в табл. 4.

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості цементу МЦ М500 з добавкою ДОР № 1 (температура 6–8 °С)

Концентрація ДОР №1, мас. %	Нормальна густина, %	Терміни тужавлення, год-хв		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
		початок	кінець	1	3	28
0	27,0	0–55	3–20	12,9	25,0	44,9
0,1	27,0	0–45	2–40	13,3	23,6	53,3
0,5	27,0	0–35	2–35	8,6	11,4	44,0
1,0	26,0	0–30	2–55	5,5	13,3	41,1
1,5	24,0	1–15	4–15	3,8	8,6	30,3

Таблиця 3

Фізико-механічні властивості цементу МЦ М400 з добавкою ДОР № 1 (температура 20–25 °С)

Концентрація ДОР №1, мас. %	Нормальна густина, %	Терміни тужавлення, год-хв		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
		початок	кінець	1	3	28
0	28,5	1–55	3–15	11,6	15,0	47,4
0,1	26,5	1–25	3–05	14,1	20,8	45,0
0,5	25,0	1–00	2–45	12,6	19,0	47,6
1,0	24,0	1–00	2–40	10,8	10,6	42,6
1,5	23,0	0–55	2–30	9,9	6,5	43,0

Добавка в межах концентрацій 0,1–0,5 мас. % сприяла збільшенню міцності цементу на 1 добу на 8–21 %, на 3 добу – на 26–38 %, марочну міцність при даних концентраціях добавка не збільшила.

По мірі збільшення концентрації спостерігається зменшення термінів тужавлення.

Таблиця 4

Фізико-механічні властивості цементу МЦ М400 з добавкою ДОР № 1 (температура 6–8 °С)

Концентрація ДОР №1, мас. %	Нормальна густина, %	Терміни тужавлення, год-хв		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
		початок	кінець	1	3	28
0	28,5	1–35	4–15	0,0	5,0	34,0
0,1	28,0	1–15	4–10	0,0	6,6	35,7
0,5	27,0	1–15	4–05	0,0	7,5	37,4
1,0	26,0	0–50	4–00	0,0	8,4	32,7
1,5	25,0	1–05	3–55	0,0	9,8	26,0

На 1 добу тверднення жоден зразок цементу не набрав міцності. На 3 добу набрали міцність лише зразки з добавкою, причому по мірі збільшення концентрації міцність цементу збільшується на 32–96 %. На 28 добу марочна міцність більша для цементів з 0,1–0,5 мас. % на 5–10 %. При цьому добавка сприяє зменшенню термінів тужавлення.

Виявлено, що для цементу МЦ М400 залежно від умов зберігання ДОР № 1 сприяє пришвидшенню тужавлення, прискоренню раннього тверднення і по-різному впливає на марочну міцність, а оптимальні концентрації знаходяться в межах 0,1–0,5 мас. %.

Вплив добавки ДОР № 1 на фізико-механічні властивості цементу ІФЦ М500 при нормальних умовах наведено в табл. 5, а при умовах низьких температура – в табл. 6.

Таблиця 5

Фізико-механічні властивості цементу ІФЦ М500 з добавкою ДОР № 1 (температура 20–25 °С)

Концентрація ДОР №1, мас. %	Нормальна густина, %	Терміни тужавлення, год-хв		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
		початок	кінець	1	3	28
0	28,0	0–55	2–40	18,0	29,5	48,8
0,1	27,5	0–45	1–50	18,8	21,8	56,7
0,5	25,0	0–45	1–55	18,0	19,5	60,5
1,0	25,0	0–45	1–55	19,0	25,0	56,1
1,5	24,0	0–45	2–00	20,6	27,5	54,9

ДОР № 1 сприяє збільшенню міцності цементу на 1 добу на 0–14 %, сповільнює тверднення в період 3 діб та сприяє підвищенню марочної міцності на 12–24 %. При цьому добавка не впливає на початкові терміни тужавлення, а зменшує кінцеві.

Таблиця 6

Фізико-механічні властивості цементу ІФЦ М500 з добавкою ДОР № 1 (температура 6–8 °С)

Концентрація ДОР №1, мас. %	Нормальна густина, %	Терміни тужавлення, год-хв		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
		початок	кінець	1	3	28
0	27,0	0–25	4–40	2,0	18,8	39,4
0,1	26,5	0–20	4–45	3,0	28,3	42,8
0,5	25,5	0–20	4–40	2,6	18,5	42,0
1,0	24,5	0–25	4–35	2,1	17,8	33,9
1,5	23,5	0–20	4–30	1,8	14,6	35,8

На 1 добу тверднення добавка сприяла збільшенню міцності на 5–50 % при концентраціях 0,1–1,0 %, на 3 добу – на 50 % при концентрації 0,1 %, на 28 добу – на 6–8 % при концентраціях 0,1–0,5 %. При оптимальній концентрації 0,1 мас. % ДОР № 1 пришвидшує тверднення цементу в усі терміни. На тужавлення добавка не впливає.

Загалом для цементу ІФЦ М500 ДОР № 1 сприяє збільшенню марочної міцності, а на раннє тверднення та терміни тужавлення залежно від температурних умов впливає по-різному.

Вплив добавки ДОР № 1 на фізико-механічні властивості цементу ІФЦ М400 при нормальних умовах наведено в табл. 7, а при умовах низьких температура – в табл. 8.

Таблиця 7

Фізико-механічні властивості цементу ІФЦ М400 з добавкою ДОР № 1 (температура 20–25 °С)

Концентрація ДОР №1, мас. %	Нормальна густина, %	Терміни тужавлення, год-хв		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
		початок	кінець	1	3	28
0	28,0	1–35	3–00	13,3	23,5	38,3
0,1	27,5	1–15	2–40	13,6	26,8	48,2
0,5	25,0	0–45	2–10	11,2	24,5	49,4
1,0	24,5	0–25	0–55	11,0	24,3	47,9
1,5	24,5	0–20	1–20	10,3	22,5	46,7

Для даного цементу добавка сприяє збільшенню міцності на 3 добу на 14 % та збільшенню марочної міцності, залежно від концентрації на 22–29 %. При оптимальній концентрації 0,1 % добавка прискорює тверднення цементу в усі терміни.

Також спостерігається прискорення тужавлення цементу по мірі збільшення концентрації добавки.

Таблиця 8

Фізико-механічні властивості цементу ІФЦ М400 з добавкою ДОР № 1 (температура 6–8 °С)

Концентрація ДОР №1, мас. %	Нормальна густина, %	Терміни тужавлення, год-хв		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
		початок	кінець	1	3	28
0	29,0	1–35	3–00	2,6	20,9	36,8
0,1	28,5	1–30	3–20	6,3	28,0	38,5
0,5	28,0	1–35	3–15	4,5	19,6	35,8
1,0	27,5	2–10	3–40	3,9	14,3	34,0
1,5	27,5	2–05	4–05	1,0	5,4	32,4

Добавка сприяє збільшенню міцності цементу на 1 добу на 50–142 % при концентраціях 0,1–1,0 %. В подальшому лише при концентрації 0,1 мас. % добавка збільшує міцність на 3 добу на 34 %, на 28 добу – на 5 %. Тому оптимальними концентраціями можна вважати межі 0,1 %.

При низьких температурах добавка, навпаки, сповільнює тужавлення цементу.

Загалом для цементу ІФЦ М400 ДОР № 1 сприяє збільшенню і ранньої, і марочної міцності, але ефективність її залежить від температурних умов тверднення. При цьому терміни тужавлення або зменшуються, або збільшуються, і також сильно залежать від температурних умов.

5. 2. Дослідження впливу добавки ДОР № 1 на швидкість гідратації цементу

За літературними даними при термічній обробці цементного каменю можуть відбуватися кілька процесів: при 100–110 °С – відбувається видалення порової вологи [11]; при 150–220 °С – міжшарової води з гідросилікатів кальцію типу CSH(I) і CSH(II); при 215 °С – видалення води з низькосульфатної форми гідросульфоалюмінату кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ і гелевидної складової; при 325–400 °С – з гідроалюмінату кальцію C_3AH_6 [12]; при 330–350 °С – з еттрингіту. При температурі 450–520 °С розкладається гідроксид кальцію, який утворюється при гідратації аліту [13]. При 700–900 °С відбувається дегідратація кристалічних гідросилікатів кальцію [14], при 610–800 °С – декарбонізація вторинного карбонату кальцію, який утворюється при атмосферній карбонізації $Ca(OH)_2$ [11].

Оскільки температурні інтервали розкладу продуктів гідратації цементу накладаються один на одного, то доцільно визначати втрату маси в певних інтервалах. За втратами маси в інтервалі 110–250 °С можна судити про кількість утвореної гелевидної фази, яка складається з гідроалюмоферритного гелю та колоїдних гелевидних гідросилікатів. За втратами в інтервалі 110–550 °С можна судити про кількість утворених продуктів гідратації – гідросилікатів, гід-

роалюмінатів, гідросульфоалюмінатів і гідроксиду кальцію, та опосередковано про швидкість гідратації. Втрати в інтервалі 550–1000 °С дозволяють судити про кількість утворених кристалічних гідросилікатів.

Результати дослідження втрати маси в інтервалах температур 110–250 та 110–550 °С гідратованим цементом МЦ М500 наведені в табл. 9.

Кількість зв'язаної води, яка видаляється в інтервалі 110–250 °С та 110–550 °С має тенденцію знижуватися по мірі збільшення концентрації ДОР № 1.

Результати дослідження втрати маси в інтервалах температур 110–250 та 110–550 °С гідратованим цементом МЦ М400 наведені в табл. 10.

Кількість зв'язаної води, яка видаляється в інтервалі 110–250 °С, збільшується по мірі збільшення концентрації добавки. Причому в перші 3 доби найбільшою часткою зв'язаної води характеризується цемент з 0,5 мас. % ДОР № 1. Надалі залежність набуває лінійного характеру. Подібна лінійна залежність спостерігається і при видаленні води в інтервалі 110–550 °С.

Таблиця 9

Кінетика зв'язування води при твердненні цементу МЦ М500

Концентрація ДОР № 1, мас. %	Втрата маси цементу в інтервалі температур 110–250 °С, %, у віці, діб					Втрата маси цементу в інтервалі температур 110–550 °С, %, у віці, діб				
	1	3	7	14	28	1	3	7	14	28
0,0	3,57	5,46	7,27	7,35	7,90	7,53	10,25	11,61	12,54	13,71
0,1	3,57	5,47	6,08	7,33	7,46	7,74	10,45	11,37	12,58	13,69
0,5	2,97	4,92	6,58	7,55	7,96	6,73	10,07	10,75	12,71	13,10
1,0	2,37	4,27	6,15	7,09	7,60	5,52	7,94	10,72	11,82	12,69
1,5	2,12	4,46	6,45	6,94	7,53	5,01	7,94	10,04	11,85	12,24

Таблиця 10

Кінетика зв'язування води при твердненні цементу МЦ М400

Концентрація ДОР № 1, мас. %	Втрата маси цементу в інтервалі температур 110–250 °С, %, у віці, діб					Втрата маси цементу в інтервалі температур 110–550 °С, %, у віці, діб				
	1	3	7	14	28	1	3	7	14	28
0,0	2,07	2,54	4,24	4,98	6,51	4,84	5,71	7,45	8,41	9,42
0,1	2,12	3,29	5,51	6,51	7,59	4,81	5,88	7,87	9,28	10,54
0,5	3,19	4,89	6,42	7,58	7,73	6,18	7,78	9,09	10,72	10,58
1,0	2,74	3,74	6,75	7,82	8,51	6,66	6,63	9,53	10,46	11,44
1,5	2,99	4,05	6,75	7,23	8,99	6,65	6,85	9,14	10,24	11,43

Результати дослідження втрати маси в інтервалі температур 550–1000 °С гідратованими цементами МЦ М500 та МЦ М400 наведені в табл. 11.

В 1 добу тверднення цементу МЦ М500 частка кристалізаційної води збільшується по мірі збільшення концентрації ДОР №1. В період до 7 діб кількість кристалізаційної води для всіх зразків приблизно однакова. Надалі частка кристалізаційної води зменшується зі збільшенням концентрації ДОР № 1.

При твердненні цементу МЦ М400 можна спостерігати прискорене утворення кристалізаційної води в період 3–7 діб, а в період 14–28 діб, навпаки, кількість води в гідратованих зразках приблизно рівна.

Результати дослідження втрати маси в інтервалах температур 110–250 та 110–550 °С гідратованим цементом ІФЦ М500 наведені в табл. 12.

Таблиця 11

Кінетика утворення кристалізаційної води при твердненні цементів МЦ М500 та МЦ М400

Концентрація ДОР № 1, мас. %	Втрата маси цементу МЦ М500 в інтервалі температур 550–1000 °С, %, у віці, діб					Втрата маси цементу МЦ М400 в інтервалі температур 550–1000 °С, %, у віці, діб				
	1	3	7	14	28	1	3	7	14	28
0,0	2,48	4,23	4,49	5,19	6,12	2,27	2,26	3,99	5,09	5,31
0,1	2,98	4,36	4,39	4,06	5,16	2,41	3,09	5,21	5,36	5,52
0,5	2,77	4,44	4,65	4,87	5,54	2,19	3,29	5,14	5,26	5,31
1,0	3,34	4,07	4,63	4,93	5,47	2,16	3,27	5,53	5,79	5,98
1,5	3,72	4,53	4,87	5,06	5,58	2,22	3,57	5,46	5,62	5,82

Таблиця 12

Кінетика зв'язування води при твердненні цементу ІФЦ М500

Концентрація ДОР № 1, мас. %	Втрата маси цементу в інтервалі температур 110–250 °С, %, у віці, діб					Втрата маси цементу в інтервалі температур 110–550 °С, %, у віці, діб				
	1	3	7	14	28	1	3	7	14	28
0,0	3,20	4,84	6,39	6,36	7,61	6,49	9,08	9,64	10,44	12,00
0,1	3,79	3,89	6,67	7,48	8,33	6,13	8,07	10,77	11,50	12,89
0,5	3,82	3,72	6,83	7,80	8,66	6,36	7,63	10,79	12,30	13,45
1,0	3,96	4,07	6,80	8,01	9,12	7,74	7,47	10,34	11,58	13,27
1,5	4,47	4,65	5,69	8,27	9,45	7,04	7,26	10,57	11,65	13,58

Частка зв'язаної води більш інтенсивно зростає в період 14–28 діб у цементів з добавкою ДОР № 1. В період 1–14 діб кількість води змінюється по-різному.

Результати дослідження втрати маси в інтервалах температур 110–250 та 110–550 °С гідратованим цементом ІФЦ М400 наведені в табл. 13.

Таблиця 13

Кінетика зв'язування води при твердненні цементу ІФЦ М400

Концентрація ДОР № 1, мас. %	Втрата маси цементу в інтервалі температур 110–250 °С, %, у віці, діб					Втрата маси цементу в інтервалі температур 550–1000 °С, %, у віці, діб				
	1	3	7	14	28	1	3	7	14	28
0,0	4,04	4,31	5,09	7,36	7,95	7,40	8,71	9,10	12,24	12,12
0,1	3,76	4,23	6,93	8,80	8,93	7,33	8,28	11,12	13,30	13,79
0,5	3,79	4,43	7,90	9,16	9,95	6,47	8,96	12,15	13,84	14,92
1,0	3,27	4,91	7,98	9,06	9,82	5,66	8,15	11,72	13,24	14,43
1,5	3,44	4,38	8,09	9,51	9,72	5,75	7,36	11,31	13,58	14,51

В ранні терміни тверднення по мірі збільшення концентрації добавки кількість зв'язаної води менша, ніж в контрольному цементі. К 3 діб частка води у всіх зразках приблизно рівна, а, починаючи з 7 діб, кіль-

кість зв'язаної води в цементах з ДОР № 1 збільшується по мірі збільшення концентрації добавки.

Результати дослідження втрати маси в інтервалі температур 550–1000 °С гідратованими цементами ІФЦ М500 та ІФЦ М400 наведені в табл. 14.

При твердненні цементу ІФЦ М500 спостерігається збільшення кількості кристалізаційної води по мірі збільшення концентрації добавки. Дана залежність зберігається в усі терміни тверднення.

Таблиця 14

Кінетика утворення кристалізаційної води при твердненні цементів ІФЦ М500 та ІФЦ М400

Концентрація ДОР № 1, мас. %	Втрата маси цементу ІФЦ М500 в інтервалі температур 550–1000 °С, %, у віці, діб					Втрата маси цементу ІФЦ М400 в інтервалі температур 550–1000 °С, %, у віці, діб				
	1	3	7	14	28	1	3	7	14	28
0,0	0,99	2,27	3,13	4,08	4,28	2,21	2,39	3,11	3,68	4,39
0,1	1,17	2,79	3,69	4,22	4,66	1,98	3,01	3,90	4,59	5,70
0,5	1,54	2,84	4,26	4,90	4,92	1,86	3,54	4,25	4,68	5,71
1,0	1,93	3,31	4,85	5,02	5,57	1,68	3,83	4,83	5,16	5,62
1,5	1,79	3,58	3,91	5,48	5,91	1,47	4,28	5,26	5,63	6,48

При твердненні ІФЦ М400 на 1 добу утворення кристалізаційної води сповільнюється у цементів з добавкою. Надалі прослідковується залежність: по мірі збільшення концентрації ДОР № 1 збільшується частка кристалізаційної води.

6. Обговорення результатів дослідження впливу добавки ДОР № 1 на властивості цементів та механізм гідратації

Загалом виявлено, що добавка ДОР № 1 прискорює тужавлення і тверднення цементу, але проявляє вибіркочу ефективність, яка залежить від концентрації добавки, типу цементу та температурних умов.

За нормальних температур добавка не вплинула на тверднення цементу МЦ М500, але прискорила тверднення МЦ М400 на 1–3 добу. Тверднення ІФЦ М500 в більшій мірі прискорилося в період після 14 діб і при цьому збільшилася марочна міцність, а тверднення ІФЦ М400 прискорилося в усі терміни тверднення.

За низьких температур ДОР № 1 сприяла збільшенню марочної міцності цементу МЦ М500 та прискорила тверднення МЦ М400 в період 3–28 діб. Також добавка сприяла збільшенню міцності цементів ІФЦ М500 та М400 в усі терміни.

Зменшення міцності МЦ М500 при збільшенні концентрації ДОР № 1 можна пояснити загалом сповільненням реакції гідратації (зменшення втрат маси в інтервалі 110–550 °С) та зокрема сповільненням утворення гелевидної фази (зменшення втрат маси в інтервалі 110–250 °С) і кристалічних гідросилікатів (зменшення втрат маси в інтервалі 550–1000 °С).

Результати дослідження кінетики втрати маси цементом МЦ М400 показують, що збільшення концен-

трації добавки призводить до прискорення гідратації та утворення гелевидної фази в усі терміни тверднення. Однак, прискорене утворення кристалічних гідросилікатів спостерігається лише на 3–7 діб, що відповідає результатам дослідження міцності. В подальшому швидкість утворення кристалічних гідросилікатів вирівнюється, тому марочна міцність цементів приблизно однакова.

При твердненні ІФЦ М500 на 1 добу спостерігається пришвидшене утворення гелевидної фази для зразків цементу з 1,0–1,5 %, в подальші терміни тверднення збільшення концентрації ДОР № 1 сприяє збільшенню частки гелевої фази. При цьому в усі терміни тверднення добавка прискорює утворення кристалічних гідросилікатів, чим пояснюється збільшення міцності цементів при збільшенні концентрації ДОР № 1.

При твердненні ІФЦ М400 на 1 добу спостерігається сповільнення гідратації цементу загалом, сповільнення утворення гелю та кристалічних гідросилікатів по мірі збільшення концентрації добавки. На 3 добу швидкість цих процесів вирівнюється, а в період 7–28 діб ДОР № 1 пришвидшує гідратацію цементу та утворення гелевидних і кристалічних фаз, чим і пояснюється вища марочна міцність цементів з добавкою.

Отже, з наведених даних можна припустити, що добавка ДОР № 1 підвищує розчинність клінкерних складових, за рахунок чого при гідратації прискорюється утворення гідратних фаз та їх кількість, зокрема прискорюється утворення гелю та збільшується його кількість, а завдяки збільшенню розчинності

мінералів скоріше досягається пересичення порового розчину іонами кальцію та швидше відбувається викристалізація кристалічних гідросилікатів.

7. Висновки

Результати дослідження впливу добавки ДОР № 1 на фізико–механічні властивості цементів показали, що добавка залежно від концентрації, типу цементу та температурних умов ефективно прискорює тужавлення і тверднення цементів як в ранні, так і пізні терміни.

Такий вплив добавки полягає в тому, що ДОР № 1 збільшує розчинність клінкерних складових та прискорює утворення колоїдних та кристалічних продуктів гідратації.

Згідно вище приведених результатів дослідження можна сформулювати наступні висновки:

1. Добавка ДОР №1 є прискорювачем тужавлення і тверднення цементу в умовах нормальних або низьких температур, однак її вплив на фізико–хімічні процеси тверднення цементу та ефективність дії залежать від концентрації, типу цементу та температурних умов.

2. Механізм дії добавки ДОР № 1 полягає у прискоренні реакції гідратації за рахунок збільшення розчинності клінкерних складових, що призводить до пришвидшеного утворення іонів кальцію, пересичення порового розчину та кристалізації гідросилікатів кальцію.

Література

1. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 (EN 934-2:2001, NEQ) «Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови» [Текст]. – Київ Мінрегіонбуд України, 2010. – 93 с.
2. Scanlon J. M. Accelerating admixtures for cold weather concreting [Electronic resource] / J. M. Scanlon, R. J. Ryan. – Available at: http://www.concreteconstruction.net/Images/Accelerating%20Admixtures%20for%20Cold%20Weather%20Concreting_tcm45-343729.pdf
3. Karagol F. The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures [Text] / F. Karagol, R. Demirboga, M. A. Kaygusuz, M. M. Yadollahi, R. Polat // Cold region science and technology. – 2013. – Vol. 89. – P. 30–35. doi: 10.1016/j.coldregions.2013.02.001
4. Sanberg, P. J. On the mechanism of strength enhancement of cement paste and mortar with triisopropanolamine [Text] / P. J. Sanberg, F. Doncaster // Cement and concrete research. – 2004. – Vol. 34, Issue 6. – P. 973–976. doi: 10.1016/j.cemconres.2003.11.018
5. Chikh, N. Effect of calcium nitrate and triisopropanolamine on the setting and strength evolution of Portland cement paste [Text] / N. Chikh, M. Cheikh-Zouaoui, S. Aggoun, R. Duval // Materials and structure. – 2008. – Vol. 41, Issue 1. – P. 31–36. doi: 10.1617/s11527-006-9215-8
6. Шевченко, В. А. Добавка-ускоритель твердения для бетонов на основе отходов промышленности [Текст] / В. А. Шевченко, В. П. Киселев, Л. Н. Панасенко, Л. А. Иванова, Г. В. Васильковская // Известия КГАСУ. – 2013. – № 2 (24). – С. 287–294.
7. Флейшер, Г. Ю. Вплив азотовмісних сполук на процес помелу та фізико–механічні властивості цементів [Текст] / Г. Ю. Флейшер, В. Ю. Сокольников, В. В. Токарчук, В. А. Свідерський // Восточно–Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 5, 10(71). – С. 26–29. doi: 10.15587/1729-4061.2014.27704
8. Свідерський, В. А. UA 91226 U, МПК С04В 24/06 (2006.1), С04В 24/12 (2006.1). Хімічна добавка для модифікації властивостей цементу та бетону [Текст] / В. А. Свідерський, В. В. Токарчук, О. І. Василькевич, В. Ю. Сокольников, Г. Ю. Флейшер. – Дата подання заявки: 29.01.2014. – Номер заявки: u201400810.
9. Бутт, Ю. М. Практикум по технологии вяжущих веществ и изделий из них [Текст] / Ю. М. Бутт. – М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам, 1953. – 471 с.

10. Fagerlund, G. Chemically bound water as measure of degree of hydration. Method and potential errors. Report TVBM–3150 [Electronic resource] / G. Fagerlund. – Available at: <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1494852&fileId=1580156>
11. Musa, N. M. Thermal analysis of cement past partially replaced with neem seed husk ash [Text] / N. M. Musa // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2014. – Vol. 5, Issue 1. – P. 1101–1105.
12. Nithya, R. A thermal analysis study on blended ternary cement paste [Text] / R. Nithya, S. Barathan, D. Govindarajan, K. Raghu, N. Anadhan // International Journal of Chemistry. – 2010. – Vol. 2, Issue 1. – P. 121–127. doi: 10.5539/ijc.v2n1p121
13. Pane, I. Investigation of blended cement hydration by isothermal calorimetry and thermal analysis [Text] / I. Pane, W. Hansen // Cement and Concrete Research. – 2005. – Vol. 35, Issue 6. – P. 1155–1164. doi: 10.1016/j.cemconres.2004.10.027
14. Серенко, А. Ф. Влияние условий твердения на формирование структуры цементного камня с наполнителем из золы-уноса Хабаровской ТЭЦ [Электронный ресурс] / А. Ф. Серенко. – Режим доступа: https://www.allbeton.ru/wiki/Влияния_условий_твердения_на_формирование_микроструктуры_цементного_камня_с_наполнителем_из_золы-уноса_хабаровской... (серенко)

Отримання експериментальних даних по конденсації бензинових парів в ежекційному теплообміннику пов'язано з пожежовибухонебезпекою. Запропоновано теоретичний підхід на основі математичного моделювання, який дозволив розробити рекомендації по проектуванню теплообмінника. Встановлено, що довжину апарату доцільно приймати не більше 1.5 м, а відношення масових витрат холодоносія і пароповітряної суміші має бути не менше 5:1

Ключові слова: ежекційний апарат, уловлювання легких фракцій, дифузія, математична модель, рівняння масовіддачі

Получение экспериментальных данных по конденсации бензиновых паров в эжекционном теплообменнике сопряжено с пожаровзрывоопасностью. Предложен теоретический подход на основе математического моделирования, который позволил разработать рекомендации по проектированию теплообменника. Установлено, что длину аппарата целесообразно принимать не более 1.5 м, а соотношение массовых расходов хладоносителя и паровоздушной смеси должно быть не менее 5:1

Ключевые слова: эжекционный аппарат, улавливание легких фракций, диффузия, математическая модель, уравнение массоотдачи

УДК 621.6.05 : 621.311.22.002.52

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.48201

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЖЕКЦИОННОГО КОНДЕНСАТОРА БЕНЗИНОВЫХ ПАРОВ ИЗ ПАРОГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

М. М. Кологривов

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: klgrvmm@rambler.ru

В. П. Бузовский

Ассистент*

E-mail: buzovskiy.v@gmail.com

*Кафедра теплоэнергетики и трубопроводного транспорта энергоносителей
Одесская национальная академия пищевых технологий
ул. Канатная, 112, г. Одесса, Украина, 65000

1. Введение

Рассматривается работа эжекционного аппарата с горизонтальным факелом рабочего потока. Такой аппарат предлагается использовать для конденсации паров углеводородов из паровоздушной смеси (ПВС) на каплях хладоносителя – водного солевого раствора [1]. Предлагаемый аппарат обладает рядом преимуществ перед аналогичными контактными аппаратами [2–4]. Основное из преимуществ – высокая пожаро-взрывобезопасность при работе с парами углеводородов. Конденсация пара из паровоздушной смеси привлекает внимание ввиду большой площади поверхности контакта фаз и увеличения интенсивности процессов тепло- и массообмена за счет

уменьшения термического и диффузионного сопротивлений.

Гидродинамическая картина в рассматриваемом аппарате и картина процессов тепло- и массообмена представляется сложной. Наблюдается движущаяся переменная поверхность контакта фаз. Одновременно из паровоздушной смеси конденсируются пары нескольких углеводородов и водяные пары в присутствии неконденсирующегося воздуха. Образуются жидкости, которые не смешиваются. Парциальное давление паров у поверхности жидкости и температура конденсации уменьшаются по ходу рабочих потоков.

На рассматриваемые процессы также влияют:

– переменная кривизна поверхности контакта; изменение теплофизических свойств веществ;