

ВПЛИВ СУЛЬФАТ-ІОННИХ СЕРЕДОВИЩ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНУ ДОВГОВІЧНІСТЬ ЦЕМЕНТНИХ ВИРОБІВ, МОДИФІКОВАНИХ ЕФІРАМИ ЦЕЛЮЛОЗИ

Коваленко Ю. О., Клименко А. В., Токарчук В. В., Свідерський В. А.

Об'єктом дослідження є органічні добавки метилгідроксиетилцелюлози середньої та високої в'язкості, а саме їх характер впливу на фізико-механічну довговічність під руйнуючою дією різних сульфат-іонних середовищ. Необхідність вивчення характеру впливу даної добавки на стійкість до впливу агресивних середовищ також пов'язана здебільшого через розширення асортименту будівельних сумішей для створення конкурентоспроможної продукції без втрати якості продукції та для поліпшення механіко-реологічних властивостей.

У ході дослідження використовувалися ефіри целюлози середньої (17000–23000 мПа·с) та високої (20000–30000 мПа·с) в'язкості. Добавки вводилися в цемент в кількості 0,25, 0,5 та 0,75 мас. %. Встановлено, що введення ефіру целюлози в цемент призводить до збільшення нормальної густоти тіста та подовження строків тужавлення розчинів, що у свою чергу впливає на процес набору міцності останніх, в порівнянні до контрольних зразків без добавки. При введенні добавки також значно зменшується показник водовідділення сумішей, що свідчить про водоутримувальну здатність добавки. Для концентрації добавок у кількості 0,25 мас. % це зменшення складає в 2 рази менше, ніж для контрольних зразків. Для концентрації 0,5–0,75 мас. % водовідділення зменшується в 3 рази, в порівнянні із зразками без добавки. Суттєві зміни відбуваються і під час набору ранньої міцності зразків при збільшенні концентрації добавки. Руйнуючий вплив агресивного сульфатного середовища визначався по зміні міцності на стиск. При довготривалому впливі агресивного середовища на контрольні та дослідні зразки відмічається, що введення даної добавки органічного походження негативно впливає на характеристики міцності цементних сумішей з ефірами целюлози при зростанні вмісту добавки. Наведені результати вказують на доцільність використання ефірів целюлози середньої в'язкості в сухих будівельних сумішах як таких, що забезпечать необхідні строки зберігання рухливості розчину та достатню міцність кінцевого матеріалу.

Ключові слова: сухі будівельні суміші, метилгідроксиетилцелюлоза, нормальна густина, строки тужавлення, водовідділення, агресивне середовище.

1. Вступ

Тенденція розвитку ринку сухих будівельних сумішей та їх різновидів з кожним роком збільшується так само, як і методи їх застосування [1, 2]. Популярність даних матеріалів пов'язана із певним рядом переваг, котрі забезпечують підвищення продуктивності праці, зменшення кількості операцій

підготовки сумішей до використання, підвищення якості робіт та ін. До сухих будівельних сумішей відносяться багатокомпонентні суміші, які обов'язково мають в своєму складі: в'язуче, заповнювач (наповнювач) та модифікуючі добавки [3]. Кожен з цих матеріалів відіграє свою роль.

В залежності від виду добавок, кінцевій суміші надається ряд властивостей, в тому числі, підвищену міцність та довговічність. Але існує також і негативний вплив на данні показники. У вологих середовищах, ґрунтах, підземних водах та морській воді вплив на цілісність конструкцій на основі цементу відбувається через руйнуючий вплив сульфат іонів. В затверділому цементі компонентом реакції з сульфат іонами є аліт, котрий у присутності кальцій гідроксиду утворює еtringіт та гіпс, що призводить до утворення сполук, які призводять до розширення та руйнування кінцевого продукту [4–6].

Досліди відносно впливу агресивних середовищ на вироби з цементу [5–7] призвели у свою чергу до створення спеціалізованих типів цементів, мінералогічний склад яких здебільшого зорієнтований на протидію агресивному впливу сульфату без втрати характеристик міцності конструкцій. Однак впродовж визначного періоду відбулися зміни не тільки у хімічному та мінералогічному складі цементів, але й у більшості виробів на їх основі [8–10]. Особливо це стосується сухих будівельних сумішей, використання яких в наш час поширилося за межі їх звичних сфер застосування таким чином, що питання їх стійкості до агресивних середовищ постає поряд з питанням їх довговічності [11, 12].

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є органічні добавки метилгідроксиетилцелюлози середньої та високої в'язкості, а саме їх характер впливу на фізико-механічну довговічність під руйнуючою дією різних сульфат-іонних середовищ.

Необхідність вивчення характеру впливу даної добавки на стійкість до впливу агресивних середовищ також пов'язана здебільшого через розширення асортименту будівельних сумішей для створення конкурентоспроможної продукції без втрати якості продукції та для поліпшення механіко-реологічних властивостей. Більшість будівельних сумішей використовують у якості ремонтних або штукатурних розчинів в середовищах, де присутній руйнуючий вплив агресивних компонентів, таких як середовища з вмістом сульфат іонів:

- ґрунтові води;
- морська вода;
- стічні води;
- приміщення хімічних виробництв;
- промислові зони;
- інші середовища, де присутній вплив сульфатовмісних сполук.

Саме через це головною задачею дослідження є вивчення характеру впливу добавок ефірів целюлози на фізико-механічні та реологічні властивості та взаємозв'язок при руйнуючій дії середовищ з вмістом сульфат іонів.

Таким чином, дане дослідження набуває особливого значення у зв'язку з можливістю використання отриманих даних для удосконалення виробничих

рецептур будівельних сумішей та вирішенні питань, пов'язаних з поліпшенням характеристик міцності та довговічності виробів.

3. Мета та задачі дослідження

Метою досліджень є встановлення впливу характеристик метилгідроксиетилцелюлози на набір міцності цементу, котрий є основним в'язучим компонентом більшості сухих будівельних сумішей. Отримані результати дозволять розробляти рецептури сумішей з кращими показниками довговічності та міцності.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

1. Вивчити характер впливу добавок ефіру целюлози з різною в'язкістю на нормальну густину, строки тужавлення, водовідділення цементної суміші та водопоглинання цементного каменю.

2. Дослідити вплив в'язкості добавок на набір міцності впродовж 28 діб у середовищі з відсутнім впливом сульфат іонів.

3. Визначити характер зміни міцності при довготривалому впливі агресивного середовища після набору міцності у середовищі з відсутнім впливом сульфат іонів.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

В роботі [13] особлива увага приділялася фізико-хімічним та фізико-механічним властивостям матеріалу під впливом добавок ефірів целюлози (метилгідроксиетилцелюлози). Варто відзначити, що попри підвищення ефективності робочого часу сумішей з добавками, вміст ефірів целюлози кардинально впливає і на стійкість виробів з цементу до впливу сульфат іонного середовища в залежності від концентрації самої добавки та типу агресивного середовища. Отримані результати підтверджуються і в інших роботах [14], де описується здатність ефірів целюлози уповільнювати процеси гідратації та унеможливлювати всмоктування води, присутньої у розчині, в пористу поверхню основи, при цьому запобігаючи випаровуванню. Даний процес збільшує період робочого часу суміші та його адгезійну здатність. При цьому, досліджений вплив в'язкості добавок на набір міцності [13] підтверджує, що чим більша в'язкість ефіру целюлози, тим менше її необхідно додавати до сухої суміші. При цьому проблема, що при великих значеннях в'язкості значно підвищується і густина будівельних розчинів, залишається не вирішеною [15].

До того ж, вивчені процеси гідратації [16, 17] доводять, що механізм дії ефірів целюлози не обмежується тільки водоутримувальною здатністю, але і призводить до сповільнення гідратаційної активності цементів та уповільнення утворення гелю CSH. Авторами роботи [18], розглянуто вплив сульфатних сполук при гідратації клінкеру протягом 28 діб. Отримані дані дозволяють зробити висновок, що присутність сульфат іону негативно впливає на набір міцності. Зменшення міцності зразків відбувалося лінійно впродовж 28 діб.

Серед основних напрямків вирішення проблеми, авторами досліджень [19, 20] розглядалося використання лише однієї концентрації добавок при визначені її впливу на фізико-механічні та реологічні характеристики. При цьому, в

роботі [17], де дослідження впливу ефірів целюлози спрямовано здебільшого на вивчення впливу різних видів ефірів целюлози, як і у попередніх роботах, не розглядався вплив зміни концентрації. І жодна з робіт не піднімала питання стійкості таких сумішей до впливу агресивних середовищ.

Розглянута робота [18], що опирається на дослідженні зміни компонентного складу цементної суміші, в цілому підтверджує незмінні дані існуючих досліджень [21, 22] стосовно впливу агресивних середовищ. При цьому, через проведення випробувань авторами лише в одному середовищі, робота [18] не є достатньо показовою для вивчення вирішення питання.

Існуючі дослідження [23] вирішують проблематику браку випробувальних середовищ. Про те у своїй роботі, автори не приймали до уваги модифіковані суміші, що в цілому не вирішує питання стійкості сумішей з використанням рядових цементів та розчинних добавок на прикладі ефірів целюлози.

Таким чином, питання вивчення характеру впливу концентрації добавок та їх властивостей на характеристики міцності виробів на основі цементу, у разі періодичного впливу агресивного середовища після 28 діб твердіння цементного каменю, є доцільним.

5. Методи дослідження

При проведенні даних досліджень визначались такі показники цементу з добавками: нормальна густина, строки тужавлення, водовідділення цементної суміші, водопоглинання цементного каменю та міцність у віці 2, 7 і 28 діб.

Нормальну густину та строки тужавлення визначали за стандартною методикою на приладі Віка у тісті нормальної консистенції. Показники водовідділення та водопоглинання, відповідно, визначали методиками, наведеними в ДСТУ Б В.2.7-239:2010 (EN 1015-11:1999, NEQ) «Розчини будівельні. Методи випробування». В зв'язку з тим, що при дослідженні було обрано три опорні точки концентрації, данні залежності показника нормальної густини від концентрації оброблялися методом логарифмічної апроксимації.

Показники міцності на стиск визначали методикою наведеною в ДСТУ EN 196-1:2007(EN 196-1:2005, IDT) «Методи випробування цементу. Частина 1. Визначення міцності».

При проведенні досліджень використовували портландцемент ПЦ 400Р-Н. В якості добавок обрано метилгідроксиетилцелюлози середньої 17000–23000 мПа·с (СМ) та високої 20000–30000 мПа·с (ВМ) в'язкості Ці компоненти в сухі будівельні суміші вводили в кількості 0,25–0,75 мас. %. (СМ I, II, III та ВМ I, II, III, відповідно). Для визначення руйнуючого впливу сульфат середовища зразки випробовувалися в розчинах сульфатів натрію (3,0 мас. %), магнію (0,3 мас. %) та кальцію (0,2 мас. %).

6. Результати досліджень

6.1. Вплив в'язкості метилгідроксиетилцелюлози на реологічні та фізичні властивості сумішей

Встановлено, що обрані добавки метилгідроксиетилцелюлози по різному впливають на нормальну густину, строки тужавлення цементу, водовідділення

цементного розчину та водопоглинання. Наведені результати випробувань в табл. 1 однозначно свідчать, що із збільшенням вмісту кожного виду добавок зростає і нормальна густина.

Таблиця 1

Нормальна густина сумішей та строки тужавіння

Суміш	Вміст добавки, мас. %	Нормальна густина, %	Строки тужавлення, г-хв		Водовідділення, %	Водопоглинання, %
			Початок	Кінець		
ЦП	0	33,3	0–54	1–30	6,0	6.65
СМ I	0,25	35,1	1–57	1–18	3,5	4.75
СМ II	0,5	37,2	2–18	1–30	3,6	6.80
СМ III	0,75	38,9	2–35	2–23	6,1	8.02
ВМ I	0,25	40,4	1–52	1–20	3,0	7.85
ВМ II	0,5	42,8	2–35	1–45	3,0	8.80
ВМ III	0,75	47,1	3–05	2–25	8,7	12.30

Примітка: ЦП – 0 % (чистий цемент); СМ I – 0,25 мас. %, СМ II – 0,5 мас. %, СМ III – 0,75 мас. % (цемент з добавкою ефірів целюлози середньої в'язкості); ВМ I – 0,25 мас. %, ВМ II – 0,5 мас. %, ВМ III – 0,75 % (цемент з добавкою ефірів целюлози високої в'язкості)

Отримані результати дозволяють стверджувати, що при підвищенні вмісту концентрації добавки відмічається логарифмічний характер (рис. 1).

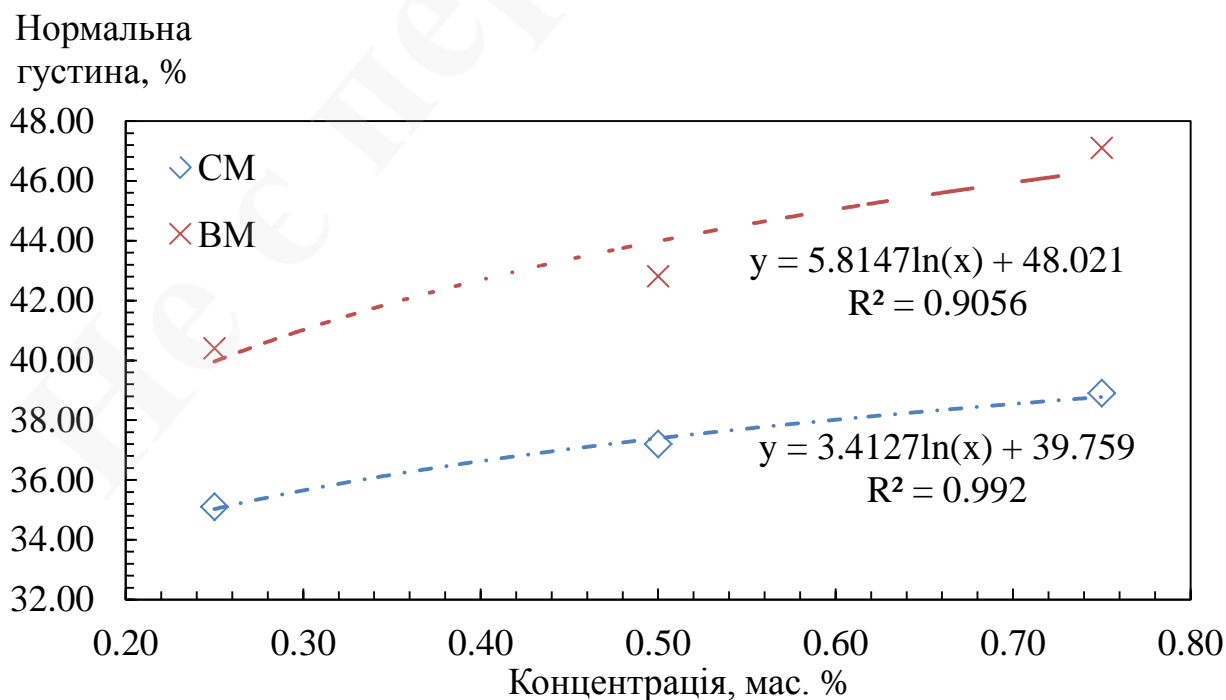


Рис. 1. Вплив концентрації добавок метилгідроксиетилцелюлози середньої (СМ) та високої (ВМ) в'язкості на нормальну густину розчину

Зростання нормальної густини дозволяє зробити висновок, що подальше

збільшення концентрації добавки може призвести до концентраційного максимуму. Це буде негативно впливати на водоутримувальну здатність суміші, оскільки надлишок води призведе до розділення фаз, що у свою чергу негативно впливатиме на процес гідратації клінкерних мінералів та набору міцності в цілому.

Результати, які наведені в табл. 1, свідчать, що при концентрації добавок 0,75 мас. % (СМ III та ВМ III) вже відбувається значна втрата водоутримувальної здатності сумішей, в порівнянні із контрольними. Це свідчить про те, що при перемішуванні з водою ефіри целюлози в даній кількості зв'язуються з водою, утворюючи коагуляційні структури. Такі утворення огортають частинки цементу та не дають рівномірно розподілити воду для гідратації цементу і, тим самим, сповільнюють процеси початку тужавлення та збільшують водовідділення.

Підвищення концентрації добавок відповідно впливають і на структурну характеристику затверділої суміші, про що свідчать результати визначення водопоглинання. На рис. 2 можна помітити, що ефіри целюлози високої в'язкості (ВМ) більш радикально впливають на показник водопоглинання на відміну від ефірів середньої в'язкості (СМ), значення котрих для усіх трьох концентрації знаходиться в допустимих межах відповідно до контрольних зразків.

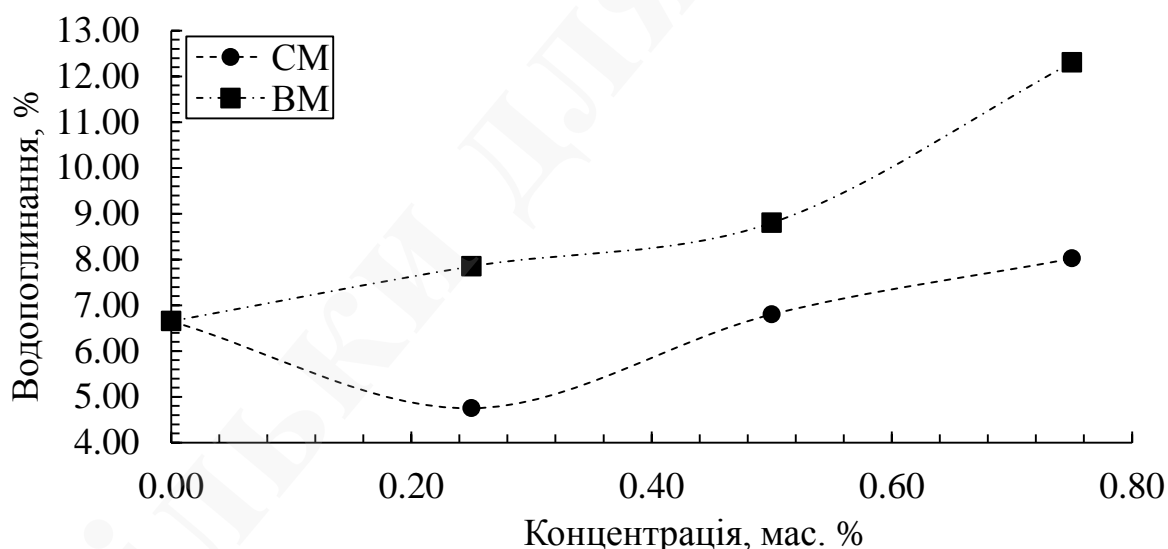


Рис. 2. Вплив ефірів целюлози середньої (СМ) та високої (ВМ) в'язкості на водопоглинальну здатність затверділих зразків

Таким чином, можна стверджувати, що при використанні добавок ефірів целюлози відбувається процес повітрявтягування, котрий призводить до утворення пористої структури у затверділому камені. При цьому в зразках з ефірами целюлози високої в'язкості (ВМ) даний процес пороутворення більш інтенсивний, що можна побачити при концентрації добавки 0,75 мас. %.

6.2. Вплив в'язкості метилгідроксиетилцелюлози на міцність цементної матриці

Приймаючи до уваги повітровтягувальну здатність ефірів целюлози,

введення добавки буде суттєво впливати на набір міцності.

При введенні добавок ефіру целюлози середньої в'язкості відбувається значне падіння ранньої міцності зразків (рис. 3). Дане падіння міцності, як вже було зазначено, пов'язано з повітровтягувальною здатністю добавок. Концентрації добавок 0,25 і 0,50 мас. % (СМ I та СМ II) впродовж періоду тверднення мають лінійний характер зростання міцності, котрий на 28 добу вже майже вирівнявся, на відміну від концентрації 0,75 мас. % (СМ III).

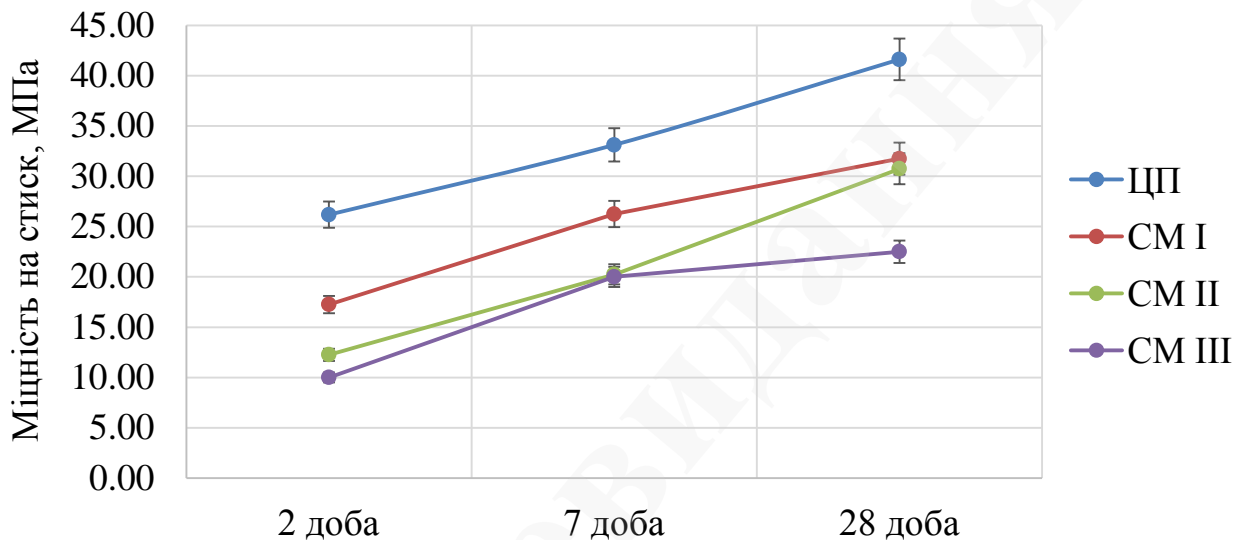


Рис. 3. Порівняння набору міцності зразків з добавкою метилгідроксиетилцелюлози середньої в'язкості різної концентрації

Така різниця у характері зростання міцності свідчить про те, що при процесі затворення водою не всі частки цементу повністю прогідратувалися. Тим самим, в товщині зразка були присутні як і пори, так і частки цементу, котрі повністю не прореагували за рахунок того, що були ізольовані у товщині коагуляційних утворень ефірів целюлози. Котрі у свою чергу сповільнювали процес утворення CSH гелю та зв'язування кристалів гідратних новоутворень часток цементу між собою.

Результати, отриманні при введенні в цемент ефірів целюлози високої в'язкості (ВМ), різняться від ефірів середньої в'язкості (СМ) тим, що відбувається значне зниження міцності по всьому діапазону концентрацій (рис. 4).

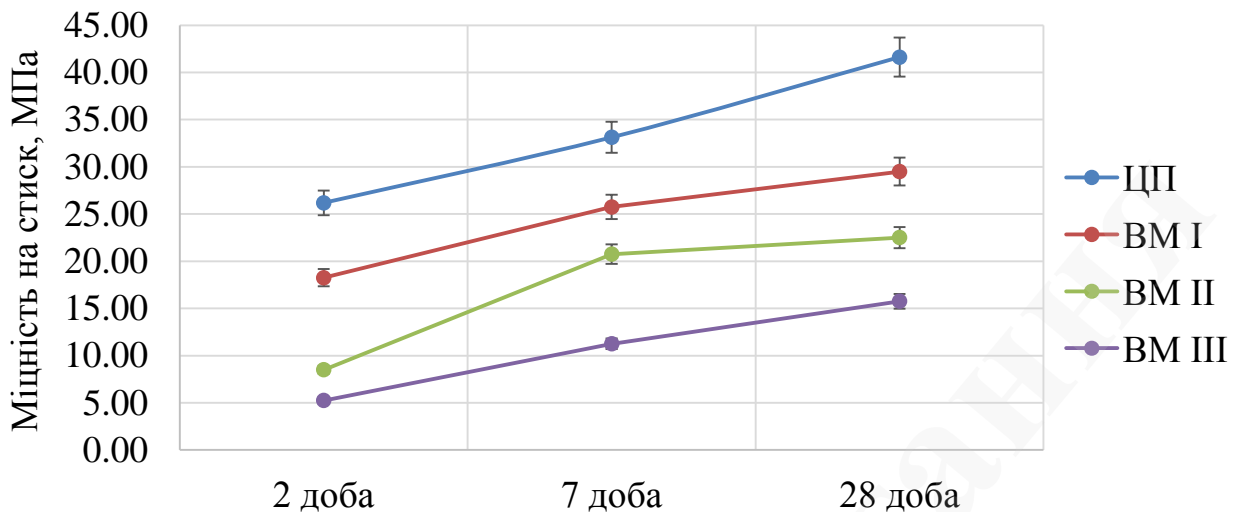


Рис. 4. Порівняння набору міцності зразків з добавкою метилгідроксиетилцелюлози високої в'язкості різної концентрації

Збільшення вмісту добавки призводить до значного зниження міцності. При загальній тенденції повільного набору міцності в ранні строки тверднення відмічаються і низькі показники міцності у віці 28 діб. Значення міцності на 28 добу для кожної концентрації складуть, відповідно, 29,1, 24,9 та 16,3 МПа.

6.3. Вплив сульфатного середовища на міцність цементів з добавками метилгідроксиетилцелюлози

Одним із основних агентів негативного впливу на міцнісні показники цементних виробів є, здебільшого, середовища з вмістом сполук з сульфатними іонами. Оскільки сульфатні сполуки знаходяться як у ґрунтових та стічних водах, так і у морській воді, то їх наявність можлива у вологих середовищах індустриальних зон. Таким чином, сульфат іони не знаходяться у вільному стані в середовищі, а в сполученні з іншими катіонами, такими як калій, магній, натрій, кальцій та ін. Саме через цю різноманітність різні середовища з вмістом сульфат іонів по різному впливатимуть на характер набору міцності зразків. Тому важливе значення мають зміни показників міцності під впливом агресивних середовищ.

При дослідженні впливу сульфатного середовища на міцнісні показники цементів з добавками ефірів целюлози середньої в'язкості (рис. 5) можна відмітити, що наявність різних катіонів по різному впливає на міцність зразків, не дивлячись на те, що у всіх наявні сульфат іони. Слід зазначити, що при явному зменшенні міцності зразків в агресивних середовищах через 168 діб, характер зміни міцності до контрольних зразків з чистого цементу для зразків СМ є майже симетричним не тільки по виду середовища, а й по характеру втрати міцності.

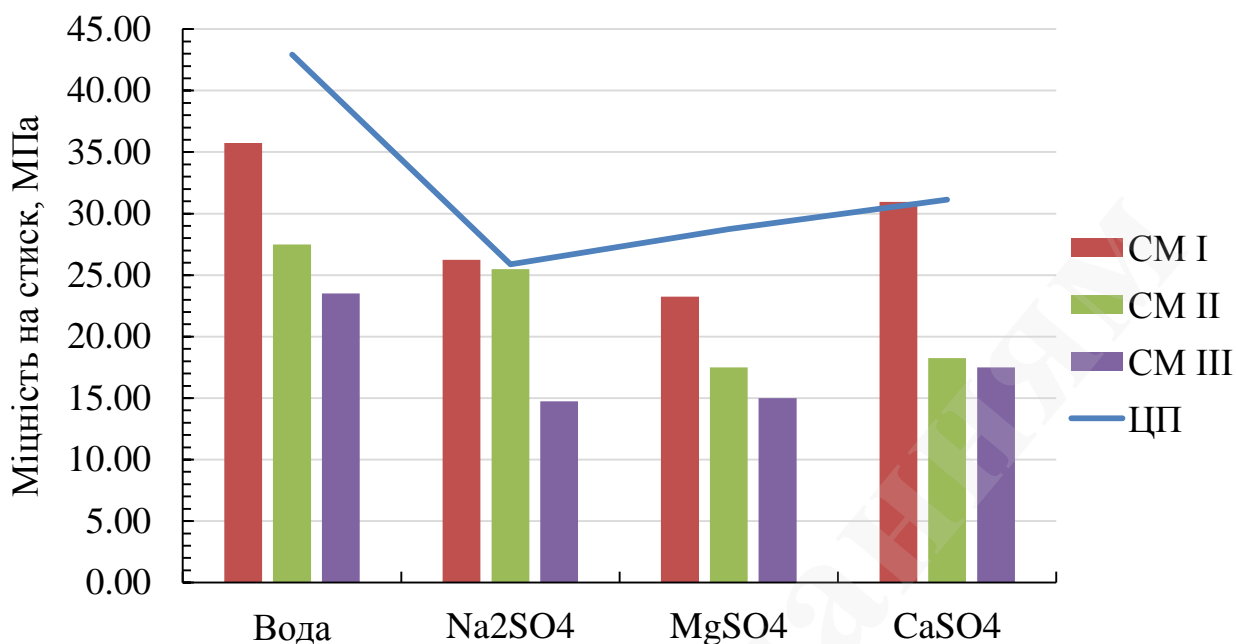


Рис. 5. Порівняльна характеристика міцності зразків середньої в'язкості у різних середовищах на 168 добу старіння

Для зразків з вмістом ефірів целюлози високої в'язкості (ВМ) зміна міцності більш однорідна та лінійна (рис. 6).

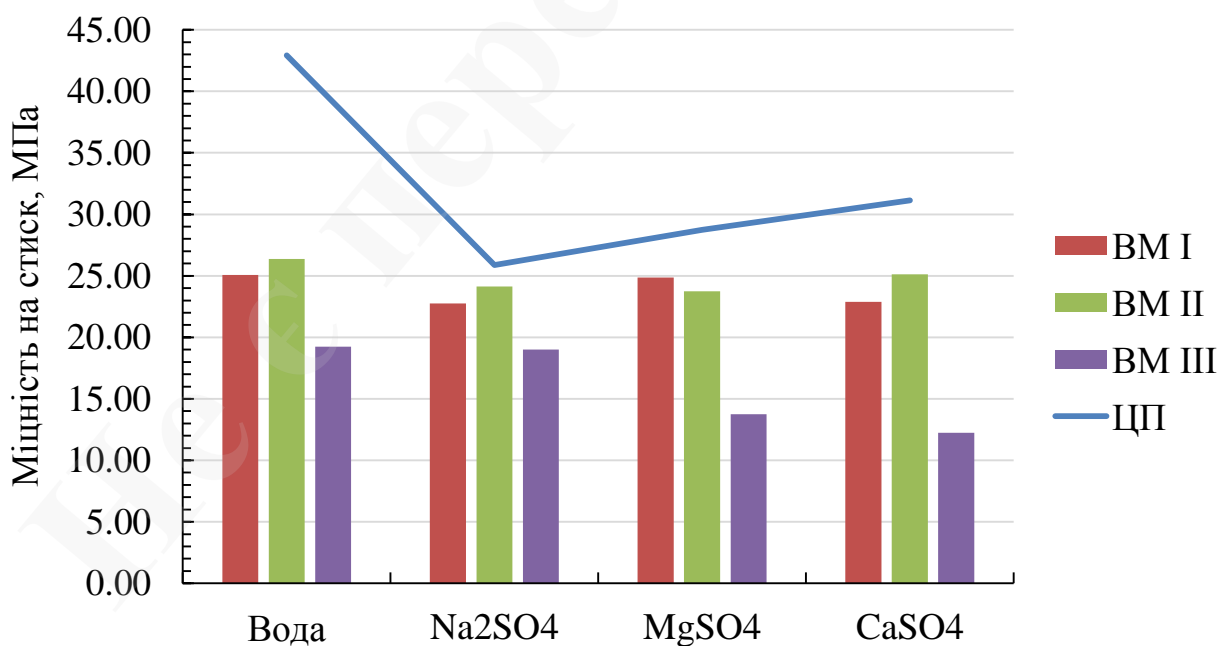


Рис. 6. Порівняльна характеристика міцності зразків високої в'язкості у різних середовищах на 168 добу старіння

Слід відзначити, що для обох видів ефіру целюлози за концентрації 0,75 мас. % відбувається різке падіння міцності: для CM III – це розчини сульфату натрію та магнію, для BM III – розчини сульфату магнію та кальцію.

6.4. Обговорення результатів впливу сульфат іонного середовища на властивості цементних розчинів модифікованих ефірами целюлози

Здатність метилгідроксиетилцелюлози утримувати воду підтверджуються низькими показниками водовідділення для концентрацій 0,25–0,75 мас. %. На відміну від суміші з ефіром целюлози високої в'язкості, при концентрації 0,75 мас. %, показник водовідділення починає зростати. Дане зростання свідчить про те, що для даного виду ефірів целюлози високий вміст негативно впливає не тільки на водоутримувальну здатність розчинів, але й при наборі міцності, про що свідчать її низькі показники (15,8 МПа) на 28 добу тверднення. Слід зазначити, що ефір целюлози високої в'язкості утримує більше води, ніж середньої в'язкості при 0,25 мас. % та 0,50 мас. % на 0,5–0,6 % (табл. 1). Цим пояснюється і значне збільшення строків тужавлення.

Проте, при 0,75 мас. % втрата води для ефірів целюлози високої в'язкості складає 8,7 %, у порівнянні до контрольного 6,0 %. Дане значення вказує на те, що частина води частково не вступає в реакцію з клінкерними мінералами, що і уповільнює протікання процесу гідратації та набору ранньої міцності.

Такі зміни в протіканні процесів гідратації не можуть не вплинути на характеристики міцності.

В питанні впливу вмісту ефіру целюлози на міцність цементного каменю треба пам'ятати, що міцність чистого цементу вища за його міцність з добавками незалежно від концентрації останніх. Крім того, найбільше зниження показника міцності відмічається в ранні строки тверднення (1–7 діб) і складає, в залежності від концентрації добавки, відповідно в 2,2–4,2 рази. В період 7–28 діб ця різниця починає зменшуватися для зразків з ефірами середньої в'язкості, але не для ефірів високої в'язкості (рис. 3, 4).

Порівнюючи міцність цементів з однаковим вмістом добавок між собою, можна зробити висновок, що процес набору міцності однаковий для концентрацій 0,25–0,75 мас. % та має лінійний характер (рис. 3, 4).

Введення метилгідроксиетилцелюлози в цемент також впливає на корозійну стійкість цементів (рис. 5, 6).

Вибрані агресивні розчини обрані відповідно до сполук, котрі частіше зустрічаються у середовищах експлуатації виробів з цементу. Таким чином, досліджуваний вплив середовища на міцнісні показники більш детально показує аспекти процесу руйнування зразків за різними механізмами в присутності та інших іонів у сульфатному середовищі.

Виходячи з наявності активних сульфат іонів в розчинах, можна стверджувати, що руйнування відбувається за рахунок утворення гідросульфоалюмінату кальцію у мікропустотах зразків. Дані утворення призводять до подальшого виникнення механічних напружень в камені і, як наслідок, поступового послаблення міцністних характеристик для зразків з ефірами целюлози середньої в'язкості.

Дещо інакший процес протікає для зразків з вмістом ефірів целюлози високої в'язкості в розчинах сульфату магнію та сульфату кальцію. По-перше, є імовірність того, що в цементі присутня певна кількість вільного оксиду магнію, котрий при взаємодії з водою призводить до утворення гідроксиду

магнію, який не має механічної міцності. По-друге, через можливість утворення коагуляційних структур ефіру є можливість утворення гідросульфоалюмінату кальцію з вихідними клінкерними мінералами, котрі звільнилися після розчинення часток ефіру целюлози.

Якщо порівнювати можливі реакції, то найбільш агресивним є розчин сульфату натрію. Так і відбувається на прикладі контрольного цементу, міцність котрого найменша у порівнянні до інших розчинів та складає 25,9 МПа (рис. 5, 6).

Зовсім інші результати при введенні ефірів целюлози. Так, введення 0,25 мас. % сповільнює руйнівний характер сульфатного середовища в 1,5 рази для усіх сульфатних середовищ. І навіть введення 0,50 мас. % добавки дозволяє у випадку введення ефірів целюлози високої в'язкості покращити стійкість до руйнуючого впливу розчину сульфату магнію, в порівнянні з різницею міцності цементів без добавок. Подальше збільшення вмісту добавок в цементі не бажане, бо призводить до різкого падіння міцності (рис. 5, 6).

Таким чином, при невеликих концентраціях метилгідроксиетилцелюлози відмічається деяке покращення корозійної стійкості матеріалів, а при значних – різке погіршення. Це пов'язано як із змінами характеру протікання процесів гідратації клінкеру, так і зниженням показників міцності із зростанням вмісту ефіру целюлози в матеріалі та збільшені його пористості.

Отримані результати доводять, що використання добавки ефірів целюлози доцільне для сповільнення процесів руйнування під впливом сульфатних середовищ, але при цьому втрати міцності, у порівнянні до цементів без добавок, є неминучим.

Таким чином, можна стверджувати, що в'язкість ефірів целюлози впливає не тільки на здатність утримувати воду в розчинах, але впливає і на міцність матриці та її стійкість до корозії.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Введення ефіру целюлози в цемент покращує її адгезійні властивості та зменшує водовідділення, котре збільшує час роботи з будівельною сумішшю (строки тужавіння). При низьких концентраціях добавки збільшується також здатність сумішей до стійкості руйнівного впливу агресивного сульфат-іонного середовища. Присутня можливість моделювання рецептур для використання сумішей у різних середовищах з імовірним контактом різних сульфат іонних середовищ.

Weaknesses. При вивченні цементів із добавками ефірів целюлози здебільшого розглядали їх вплив на процеси гідратації [14, 16, 20], при цьому фактор в'язкості ефірів целюлози досі не досліджувався та не враховувався при вивченні впливу сульфатних середовищ на будівельні суміші.

Opportunities. Подальші дослідження слід орієнтувати на вивчення впливу інших складових сухих будівельних сумішей на міцнісну цілісність виробів з урахуванням впливу агресивних середовищ. Це, в першу чергу, редиспергуючі порошки, а також комплексний вплив всіх основних складових сухих будівельних сумішей на фізико-механічні властивості цементної матриці. Варто також прийняти

до уваги випробування на вплив агресивних середовищ і з вмістом хлорид-іонів.

Отримані результати можна використовувати при виробництві сухих будівельних сумішей, і не тільки, для оптимізації складів та прогнозування стійкості в різних агресивних середовищах.

Threats. Витрати підприємства при використанні добавки полягають у встановленні обладнання для зберігання та дозування самого ефіру целюлози, а також у її собівартості.

Негативними аспектами використання даних добавок є їх вплив на набір міцності будівельних сумішей. При додаванні ефірів зменшуються ранішні та кінцеві показники міцності в порівнянні до сумішей, де використовувався чистий цемент. Данна втрата на ранніх строках складає половину від показників контрольних зразків.

Добавка не є універсальною для використання її у всіх сульфат іонних середовищах за певною однією концентрацією, через різну дію супутніх катіон іонів на ефіри целюлози. На прикладі: за високих концентрацій (0,75 мас. %) ефірів середньої в'язкості можливе їх використання у середовищах сульфату магнію та кальцію, де руйнуючий вплив менший, ніж у середовищі сульфату натрію. В той час, як при тій же концентрації (0,75 мас. %) ефіри целюлози високої в'язкості більш стійкі у середовищі сульфату натрію. Сама по собі добавка є складною у застосуванні, тому одним з основних негативних впливів на її ефективність є відхилення у рецептурах у виробництві, що можуть бути викликані людським фактором.

8. Висновки

1. Введення ефіру целюлози в цемент впливає на показники нормальної густини тіста та строки тужавлення розчинів, та призводить до збільшення даних показників. Збільшення концентрації ефірів середньої та високої в'язкості призводять до зменшення водовідділення розчину при концентраціях 0,25–0,50 мас. %, для концентрації 0,75 мас. % відбувається збільшення водовідділення на 0,1–2,7 %, відповідно. При концентрації 0,50–0,75 мас. % відбувається збільшення показників водопоглинання від 6,80 до 12,30 %, що підтверджує повітровтягувальну здатність добавок.

2. Ефіри целюлози негативно впливають на набір ранньої міцності через збільшені строки тужавлення, що видно з результатів на 2 та 7 добу і складає, в порівнянні до контрольних зразків, в 2–3,5 рази менше в залежності від кількості добавки. Втрата міцності на 28 добу в порівнянні до контрольних зразків складає в середньому для зразків з ефірами середньої в'язкості 27,8 %; для ефірів високої в'язкості – 44,9 %.

3. Наявність ефірів целюлози взагалі має позитивний характер на стійкість до впливу сульфатних середовищ. При незначних кількостях добавки відбувається суттєве зменшення швидкості руйнації зразків після контакту з агресивним середовищем на відміну від контрольних зразків. Ця зміна помітна при порівнянні втрати міцності між проектними та контрольними зразками у агресивних середовищах. Для сульфат натрієвого середовища втрата міцності складає:

– у ефірах целюлози середньої в'язкості для зразків з концентраціями 0,25 мас. % – 12,5 %, 0,5 мас. % – 5,6 %, 0,75 мас. % – 33,7 %;

– у ефірах целюлози високої в'язкості – 0,25 мас. % – 22,9 %.

Для сульфат магнієвого середовища втрата міцності складає:

– у ефірах целюлози середньої в'язкості для зразків з концентраціями 0,25 мас. % – 15,7 %, 0,5 мас. % – 35,2 %, 0,75 мас. % – 32,6 %;

– для зразків з ефірами целюлози високої в'язкості при концентраціях добавки 0,25 мас. % – 15,7 % та 0,75 мас. % – 12,7 %.

Для сульфат кальцієвого середовища втрата міцності складає:

– у ефірах целюлози середньої в'язкості для зразків з концентраціями 0,5 мас. % – 32,4 %, 0,75 мас. % – 21,3 %;

– для зразків з ефірами целюлози високої в'язкості при концентраціях добавки 0,25 мас. % – 22,5 %, та 0,75 мас. % – 22,2 %.

Втрата міцності для контрольного цементу: сульфат натрієве середовище – 35,3 %, сульфат магнієве – 28,1 %, сульфат кальцієве – 22,2 %. При цьому для деяких концентрацій відбувалося і збільшення міцності, що у свою чергу дозволяє зробити висновок про те, що в деяких зразках присутні частки вихідних клінкерних матеріалів, котрі активувалися вже тільки після взаємодії з розчинами агресивного середовища.

Література

1. Rynok sukhykh budivelnykh sumishei: stan ta prohnozy (infohrafika) (2019). *Budivelnyi portal No. 1*. Available at: <http://budport.com.ua/news/13193-rinok-suhih-budivelnih-sumishey-stan-ta-prognozi-infografika>
2. Dry Mix Mortar Market Share 2020-2026 (2019). *Industry Statistics PDF Report*. Available at: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/dry-mix-mortar-market>
3. Wan, I. R. (2002). Advanced Dry Mortar Technology for Construction Industry. *Professional Services Development Assistance Scheme*, 1–19.
4. Rasheeduzzafar, Al-Amoudi, O. S. B., Abduljauwad, S. N., Maslehuddin, M. (1994). Magnesium-Sodium Sulfate Attack in Plain and Blended Cements. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 6 (2), 201–222. doi: [http://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(1994\)6:2\(201\)](http://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(1994)6:2(201))
5. Al-Amoudi, O. S. B., Maslehuddin, M., Saadi, M. M. (1955). Effect of magnesium sulfate sodium on the durability performance of plain and blended cements. *ACI Materials Journal*, 92 (1), 15–24. doi: <http://doi.org/10.14359/1173>
6. Al-Amoudi, O. S. B. (1995). Performance of 15 reinforced concrete mixtures in magnesium-sodium sulphate environments. *Construction and Building Materials*, 9 (3), 149–158. doi: [http://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00007-3](http://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00007-3)
7. Al-Amoudi, O. S. B. (1998). Sulfate attack and reinforcement corrosion in plain and blended cements exposed to sulfate environments. *Building and Environment*, 33 (1), 53–61. doi: [http://doi.org/10.1016/s0360-1323\(97\)00022-x](http://doi.org/10.1016/s0360-1323(97)00022-x)
8. Behr, M., Rosentritt, M., Loher, H., Kolbeck, C., Trempler, C., Stemplinger, B. et. al. (2008). Changes of cement properties caused by mixing errors: The therapeutic range of different cement types. *Dental Materials*, 24 (9), 1187–1193. doi: <http://doi.org/10.1016/j.dental.2008.01.013>
9. Libos, I. L. S., Cui, L. (2020). Effects of curing time, cement content, and saturation state on mode-I fracture toughness of cemented paste backfill. *Engineering Fracture Mechanics*, 235, 107174. doi: <http://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107174>

10. Soja, W., Georget, F., Maraghechi, H., Scrivener, K. (2020). Evolution of microstructural changes in cement paste during environmental drying. *Cement and Concrete Research*, 134, 106093. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106093>
11. Balčiūnas, G., Pundienė, I., Boris, R., Kairyte, A., Žvironaitė, J., Gargasas, J. (2018). Long-term curing impact on properties, mineral composition and microstructure of hemp shive-cement composite. *Construction and Building Materials*, 188, 326–336. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.126>
12. John, V. M., Quattrone, M., Abrão, P. C. R. A., Cardoso, F. A. (2019). Rethinking cement standards: Opportunities for a better future. *Cement and Concrete Research*, 124, 105832. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105832>
13. Kovalenko, Y., Tokarchuk, V., Poluha, V. (2020). The effect of methyl hydroxyethyl cellulose on the cement matrix properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (105)), 28–33. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205347>
14. Omikrine Metalssi, O., Aït-Mokhtar, A., Ruot, B. (2014). Influence of cellulose ether on hydration and carbonation kinetics of mortars. *Cement and Concrete Composites*, 49, 20–25. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.01.011>
15. Spychał, E. (2015). The Effect of Lime and Cellulose Ether on Selected Properties of Plastering Mortar. *Procedia Engineering*, 108, 324–331. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.154>
16. Zhang, G., He, R., Zhao, G., Wang, Y., Wang, P. (2017). Effect of Hydroxyethyl Methyl Cellulose on the Morphology Characteristics of Ca(OH)₂ in Portland Cement Paste. *Jianzhu Cailiao Xuebao. Journal of Building Materials*, 20 (4), 495–500.
17. Ou, Z. H., Ma, B. G., Jian, S. W. (2012). Influence of cellulose ethers molecular parameters on hydration kinetics of Portland cement at early ages. *Construction and Building Materials*, 33, 78–83. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.01.007>
18. Ma, Y., Qian, J. (2018). Influence of alkali sulfates in clinker on the hydration and hardening of Portland cement. *Construction and Building Materials*, 180, 351–363. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.196>
19. Zhang, G., Wang, P. (2014). Study of hydration process of cement paste modified with hydroxyethyl methyl cellulose by AC impedance spectroscopy. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 17 (1), 9–14. doi: <http://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9629.2014.01.002>
20. Wang, Z., Zhao, Y., Zhou, L., Xu, L., Diao, G., Liu, G. (2019). Effects of hydroxyethyl methyl cellulose ether on the hydration and compressive strength of calcium aluminate cement. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140 (2), 545–553. doi: <http://doi.org/10.1007/s10973-019-08820-6>
21. Ou, Z. H., Ma, B. G., Jian, S. W. (2013). Pore Structure of Cement Pastes Modified by Non-ionic Cellulose Ethers. *Journal of Building Materials*, 16 (1), 121–126. doi: <http://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9629.2013.01.023>
22. Djuric, M., Ranogajec, J., Omorjan, R., Miletic, S. (1996). Sulfate corrosion of portland cement-pure and blended with 30 % of fly ash. *Cement and Concrete Research*, 26 (9), 1295–1300. doi: [http://doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00127-5](http://doi.org/10.1016/0008-8846(96)00127-5)
23. Bérodiér, E. M. J., Muller, A. C. A., Scrivener, K. L. (2020). Effect of sulfate on C-S-H at early age. *Cement and Concrete Research*, 138, 106248. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106248>