

УДК 666.9.03

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.205347

## Вплив метилгідроксиетилцелюлози на властивості цементної матриці

Ю. О. Коваленко, В. В. Токарчук, В. О. Полюга

Вивчено вплив добавки метилгідроксиетилцелюлози на технічні та фізико-механічні властивості цементної матриці. Використовували ефір целюлози низької (11000 – 16000 мПа·с), середньої (17000–23000 мПа·с) та високої (20000 – 30000 мПа·с) в'язкості. Добавки вводилися в цемент в кількості 0,25, 0,5 і 0,75 мас. %. Встановлено, що введення ефіру целюлози в цемент призводить до збільшення нормальної густоти тіста і подовження строків тужавлення розчинів. Нормальна густина цементного тіста зростає при введенні ефірів целюлози низької (НВ) і середньої в'язкості (СВ) на 5,4–16,8 %, а при введенні ефіру високої в'язкості (ВВ) на 21,3–41,4 %. Це підтверджує високу водоутримувальну здатність метилгідроксиетилцелюлози, яка зростає із збільшенням в'язкості добавок. Строки тужавлення цементного тіста збільшуються, в залежності від концентрації та в'язкості добавок, в 2–4 рази у порівнянні з матеріалом без добавок. Відбувається також значне зниження міцності цементної матриці в ранні строки тверднення (1–7 діб) в залежності від концентрації добавок в 2,2–4,2 рази. Найменше знижує міцність зразків ефір целюлози низької в'язкості, найбільше – високої. Зменшення міцності відмічається і у віці 28 діб, але не таке відчутне. У порівнянні з цементом без добавок, міцність складає: для ефіру низької в'язкості при концентраціях: 0,25 мас. % – 14,3 %, 0,50 мас. % – 23,9 %, 0,75 мас. % – 40,5 %, для ефіру середньої в'язкості, відповідно, 23,8; 26,2 і 33,3 %, а для ефіру високої в'язкості 28,6; 45,2 і 61,0 %. Корозійна стійкість цементної матриці з добавками метилгідроксиетилцелюлози підвищується при концентрації до 0,25 мас. %, а потім поступово знижується. Наведені результати дозволяють рекомендувати використовувати при виробництві сухих будівельних сумішей ефіри целюлози низької та середньої в'язкості, що забезпечить необхідні строки зберігання рухливості розчину та достатню міцність кінцевого матеріалу

Ключові слова: сухі будівельні суміші, метилгідроксиетилцелюлоза, цемент, нормальна густина, строки тужавлення, міцність, корозійна стійкість

### 1. Вступ

Виробництво сухих будівельних сумішей збільшується з кожним роком [1, 2]. Зростаюча популярність таких матеріалів пояснюється наявністю низки переваг при виконанні будівельних робіт: підвищення продуктивності праці, зменшення кількості операцій підготовки сумішей до використання, підвищення якості робіт та інші. 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'язучий компонент забезпечує міцність затверділого розчину, його цілісність та адгезію до робочої поверхні. Заповнювачі (наповнювачі) дозво-

ляють знизити вміст в'язучого, що зменшує кількість води та призводить до отримання більш щільного матеріалу. Модифікуючі добавки надають розчину необхідних властивостей. Сухі будівельні суміші багатокомпонентні матеріали і містять в своєму складі як неорганічні, так і органічні матеріали. Враховуючи неоднозначний вплив органічних добавок на характеристики міцності цементної матриці та її стійкості до різних видів агресії, вивчення впливу ефірів целюлози на властивості цементу є актуальним.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відомо [4], що в якості добавок, які утримують воду в розчинах, у більшості сухих будівельних сумішей використовують водорозчинні ефіри целюлози. Це похідні целюлози з загальною формулою  $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OR)_x]_n$ , де  $n$  – ступінь полімеризації;  $x$  – число груп OH, які заміщено в одному ланцюзі макромолекули целюлози (ступінь заміщення –  $C_3$ ); R – метил, етил, пропіл та інші радикали. Кожна ланка макромолекули целюлози має у складі три групи OH, які здатні до заміщення і, як наслідок, утворення відповідних ефірів целюлози. Структурна формула метилгідроксиетилцелюлози наведена на рис. 1.

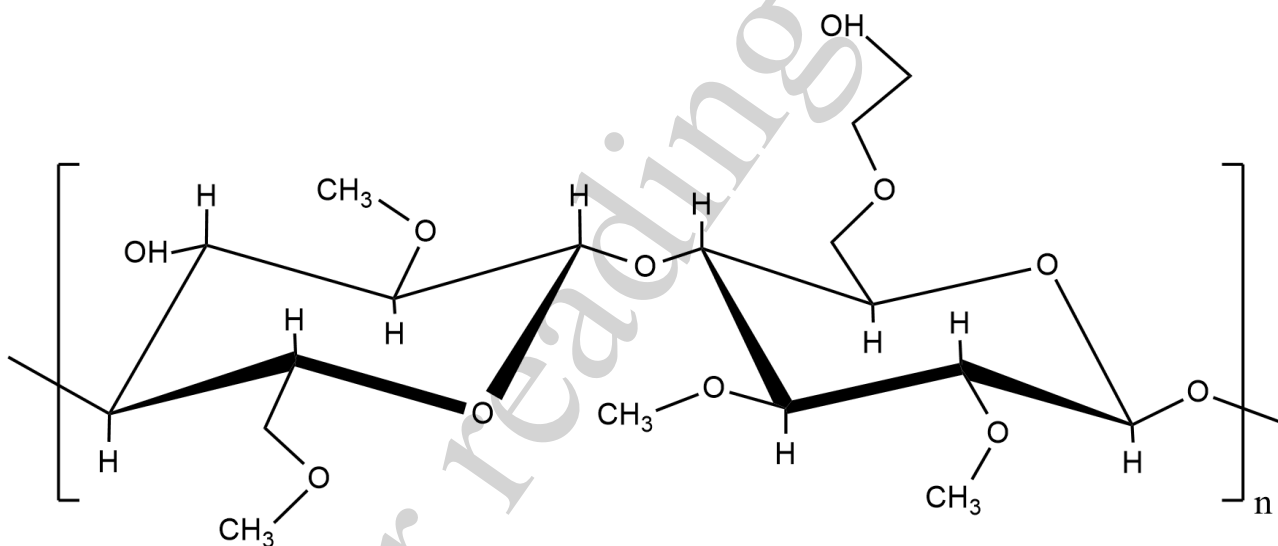


Рис. 1. Будова метилгідроксиетилцелюлози

В роботі [5] наведені результати, які свідчать, що ефіри целюлози уповільнюють процеси гідратації та не дозволяють воді, яка є в розчині, всмоктуватися в пористу поверхню основи, а також запобігають випаровуванню. Це призводить до збільшення термінів зберігання розчином своєї пластичності та здатності до формування адгезійного контакту. Але залишилися невирішені питання впливу в'язкості та концентрації добавок на характеристики міцності кінцевого матеріалу. Адже, параметром, який визначає дозування добавки (0,1–0,5 мас. %) є в'язкість, яка визначається в розчині з 2,0 мас. % концентрацією при 20 °С. Чим більша в'язкість ефіру целюлози, тим менше її необхідно додати до сухої суміші, але існує проблема, що при великих значеннях в'язкості значно підвищується густина розчинів, як на основі цементу, так і на інших в'язучих [6].

Введення таких добавок пояснюється потребою надання кінцевому продукту необхідних властивостей. Але відомо, що органічні добавки можуть як покращувати міцність виробів, переважно за рахунок пластифікуючої дії [7], так і погіршувати його за рахунок гідрофобізуючої дії [8].

Дослідниками встановлено, що ефіри целюлози мають досить суттєвий вплив на властивості розчинів. Вони значно уповільнюють процеси гідратації в ранні періоди тверднення за рахунок значного зменшення фізичної води, яка бере участь у процесах гідролізу і гідратації клінкерних мінералів [9]. В результаті відбувається утворення в суміші великих гідроколоїдних частинок, що теж змінює характер протікання тверднення [10].

Це підтверджується і результатами вивчення процесів гідратації таких систем методом калориметрії [11]. Відмічається зменшення кількості теплоти гідратації в перші 36 годин тверднення.

Такий вплив ефірів целюлози на процеси гідратації цементної матриці призводить до зміни послідовності процесів, які характерні для цементної матриці. Відбувається уповільнення гелю еtringіту, портландиту та гідросилікату кальцію [12].

На процеси гідратації впливає і молекулярна маса ефірів целюлози. Встановлено [13], що ефект впливу різний. Чим нижча молекулярна маса ефіру целюлози, тим більше здатність до уповільнення процесу.

Відмічається [14] вплив ефірів целюлози не тільки на здатність утримувати воду, але і на реологічні властивості розчину. Введення добавок ефірів целюлози в цементну матрицю призводить до збільшення в'язкості порового розчину та знижує швидкість міграції іонів порового розчину. Це знижує ступінь гідратації цементу і стримує утворення гелю CSH.

Уповільнення процесів гідратації при введенні ефірів целюлози відмічається і при використанні інших цементів в якості матриці в сухих будівельних сумішах. Отримано дані [15], які свідчать про уповільнення процесів гідратації алюмінатного цементу, а строки тужавлення збільшуються із зростанням концентрації ефіру.

Наведені дані свідчать, що процеси гідратації вивчені досить детально, але зовсім не розглянуті питання впливу в'язкості ефірів целюлози на фізико-механічні характеристики цементної матриці. Це особливо актуально, тому що у виробництві сухих будівельних сумішей використовують ефіри целюлози різних марок, які мають широкий діапазон показників в'язкості.

Крім того, залишається не вивченим вплив добавок ефірів целюлози на стійкість цементної матриці в умовах різних агресивних середовищ. Відомо, що цементний камінь руйнується з часом, особливо в умовах сульфатної агресії [16, 17]. Враховуючи вплив ефірів целюлози на характер протікання процесів тверднення цементної матриці можна зробити висновок, що добавки будуть впливати і на корозійну стійкість матеріалів. В роботі [18] розглянуто вплив сульфатних іонів на стійкість цементів та наведені механізми сульфатної агресії. Встановлено [19], що зміна компонентного складу останніх призводить до зміни механізмів руйнування цементної матриці. На цей процес впливає концентрація агресивного середовища [20].

Слід також враховувати дані [21], що введення ефірів целюлози призводить до збільшення пористості кінцевого продукту. Цей ефект може збільшити ризик корозії матеріалу.

На підставі вище наведеного, можна зробити висновок, що використання добавок ефірів целюлози в якості добавок, що утримують воду, обов'язкового призведе до змін в процесах тверднення сухих сумішей на основі цементів. Але залишається питання, як впливає в'язкість ефірів целюлози на процеси формування структури цементної матриці сухих будівельних сумішей та корозійну стійкість кінцевих продуктів.

Все це дозволяє стверджувати, що вивчення впливу в'язкості ефірів целюлози на міцність та корозійну стійкість цементної матриці є доцільним.

### **3. Мета та задачі дослідження**

Метою даних досліджень є встановлення впливу характеристик метилгідроксиетилцелюлози на властивості цементної матриці, яка входить до складу сухих будівельних сумішей. Це дасть можливість отримувати вироби з кращими показниками міцності та подовжити строк їх експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

- вивчити характер впливу в'язкості добавок ефіру целюлози на нормальну густоту і строки тужавлення цементної матриці;
- дослідити вплив в'язкості добавок на міцність цементної матриці;
- визначити корозійну стійкість цементів з добавками ефіру целюлози.

### **4. Матеріали та методи досліджень властивостей цементу з добавками метилгідроксиетилцелюлози різної в'язкості**

При проведенні даних досліджень визначались такі показники цементу з добавками: нормальна густота, строки тужавлення, міцність у віці 2, 7 і 28 діб.

Нормальну густоту та строки тужавлення визначали за стандартною методикою на приладі Віка у тісті нормальної консистенції.

При визначенні показників міцності при стиску використовували методику наведену в ДСТУ EN 196-1:2007(EN 196-1:2005, IDT). Методи випробування цементу. Частина 1. Визначення міцності. В зв'язку з тим, що величини спочатку швидко зростають, а потім поступово уповільнюються, результати випробувань оброблялися методом логарифмічної апроксимації.

При проведенні досліджень використовували портландцемент ПЦ 400Р – Н. В якості добавок вибрано метилгідроксиетилцелюлозу різної в'язкості: низької (11000–16000 мПа·с), середньої (17000–23000 мПа·с) та високої (20000–30000 мПа·с). Ці компоненти в сухі будівельні суміші вводили в кількості 0,25–0,75 мас. %. Корозійну стійкість вивчали в агресивних розчинах сульфатів натрію (3,0 мас. %), магнію (0,3 мас. %) і кальцію (0,2 мас. %). Значення коефіцієнтів корозійної стійкості зразків розраховувалися як відношення міцності зразків із тіста нормальної консистенції розмірами 20×20×20 мм, що знаходилися в агресивних розчинах до міцності зразків, які знаходилися у водопровідній воді. Коефіцієнт стійкості визначався у віці 6 місяців [22]. Цементи вважаються стійкими до корозії, якщо коефіцієнт корозійної стійкості у віці 6 місяців вище 0,80.

## 5. Результати досліджень впливу метилгідроксиетилцелюлози різної в'язкості на властивості та корозійну стійкість цементу

### 5.1. Вплив в'язкості метилгідроксиетилцелюлози на нормальну густоту і строки тужавлення цементної матриці

Встановлено, що вибрані добавки метилгідроксиетилцелюлози по різному впливають на нормальну густоту і строки тужавлення цементу. Отримані результати наведені в табл. 1 і однозначно свідчать, що із збільшенням вмісту кожного виду добавок зростає і нормальна густота.

Таблиця 1

Нормальна густота та строки тужавлення сумішей цементу з добавками

| Суміш                             | Вміст добав-<br>ки, мас. % | Нормальна<br>густина, % | Строки тужавлення, г-хв |            |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
|                                   |                            |                         | Початок                 | Закінчення |
| Портландцемент                    | 0,00                       | 33,3                    | 0–54                    | 1–30       |
| Ефір целюлози низької в'язкості   |                            |                         |                         |            |
| НВ I                              | 0,25                       | 35,1                    | 1–59                    | 3–09       |
| НВ II                             | 0,50                       | 37,2                    | 2–20                    | 3–25       |
| НВ III                            | 0,75                       | 38,9                    | 2–40                    | 4–50       |
| Ефір целюлози середньої в'язкості |                            |                         |                         |            |
| СВ I                              | 0,25                       | 35,1                    | 1–57                    | 3–14       |
| СВ II                             | 0,50                       | 37,2                    | 2–18                    | 3–48       |
| СВ III                            | 0,75                       | 38,9                    | 2–35                    | 4–58       |
| Ефір целюлози високої в'язкості   |                            |                         |                         |            |
| ВВ I                              | 0,25                       | 40,4                    | 1–52                    | 3–12       |
| ВВ II                             | 0,50                       | 42,8                    | 2–35                    | 4–20       |
| ВВ III                            | 0,75                       | 47,1                    | 3–05                    | 5–30       |

Відмічається монотонне збільшення строків тужавлення, як початку, так і закінчення цього процесу. Слід зазначити, що досить суттєве збільшення цього показника (в 2–4 рази) відбувається навіть при незначних концентраціях ефірів целюлози (табл. 1).

Збільшення нормальної густоти та строків тужавлення цементного тіста свідчить про значну здатність метилгідроксиетилцелюлози утримувати воду в розчинах. Відмічається залежність між в'язкістю добавок і зростанням цих показників: чим більша в'язкість – тим більше зростає нормальна густота та збільшуються строки тужавлення цементних розчинів.

### 5.2. Вплив в'язкості метилгідроксиетилцелюлози на міцність цементної матриці

Введення добавок ефірів целюлози різної в'язкості призводить і до суттєвого зниження показників міцності цементів.

При введенні добавок ефіру целюлози низької в'язкості відмічається суттєве падіння міцності цементної матриці у порівнянні із вихідним цементом в ранні строки тверднення (рис. 2). Величини достовірності апроксимації ( $R^2$ )

свідчать про достатньо високий ступінь відповідності трендової моделі вихідним даним для цементу без добавок та при введенні 0,25 і 0,50 мас. % ефіру целюлози низької в'язкості. Дещо менша відповідність при концентрації 0,75 мас. % добавки.

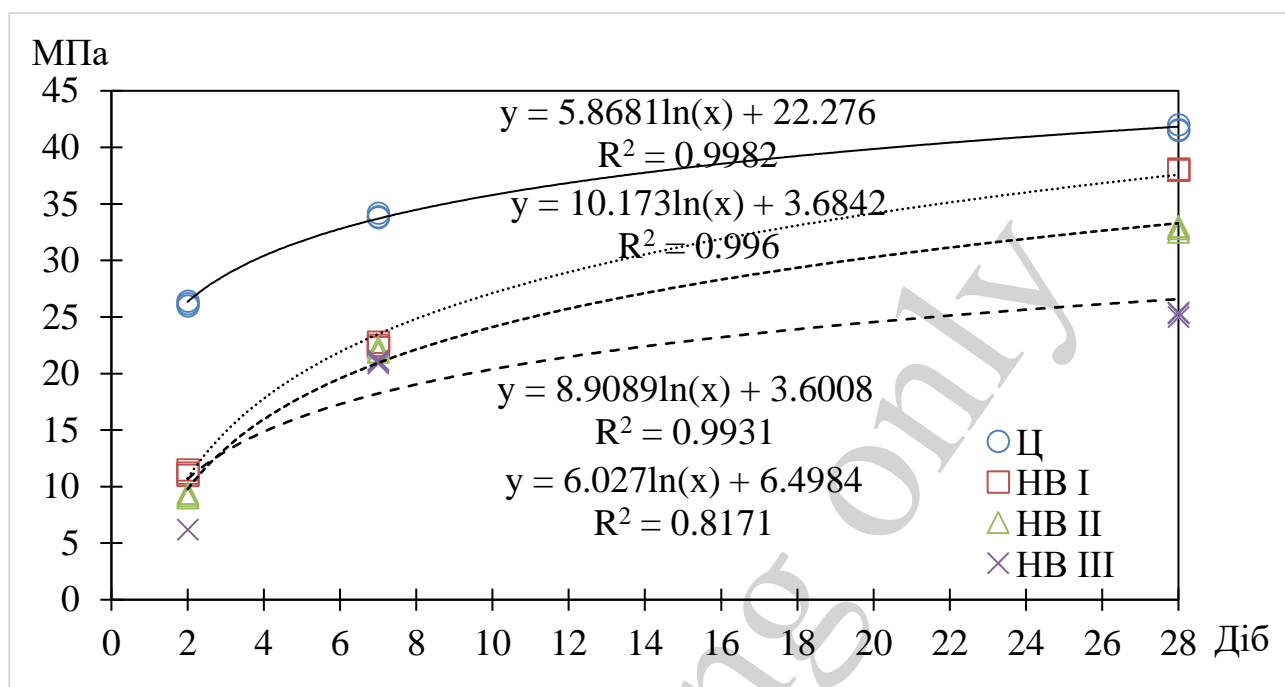


Рис. 2. Лінії тренда залежності міцності цементу від концентрації добавки ефіру целюлози низької в'язкості

Аналогічні результати отримані і при введенні в цемент добавки ефіру целюлози середньої в'язкості. Відмічається зниження міцності цементного каменю в усьому діапазоні концентрацій, але не таке суттєве, як в попередньому випадку (рис. 3).

Вплив ефіру целюлози високої в'язкості на міцність цементу носить дещо інший характер (рис. 4).

Збільшення концентрації добавки супроводжується значним її зниженням. При загальній тенденції повільного набору міцності в ранні строки тверднення відмічається і низькі рівень у віці 28 діб. Відповідно із зростанням концентрації цей показник складає 29,1, 24,9 і 16,3 МПа.

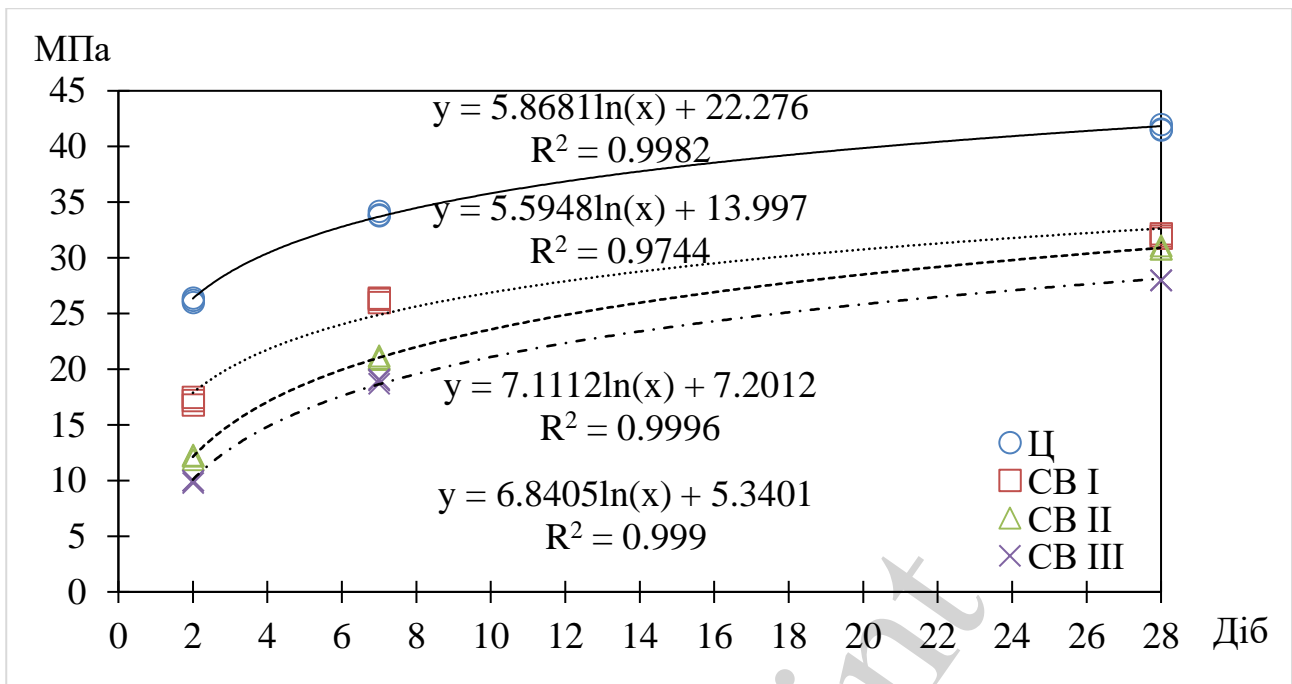


Рис. 3. Лінії тренда залежності міцності цементу від концентрації добавки ефіру целюлози середньої в'язкості

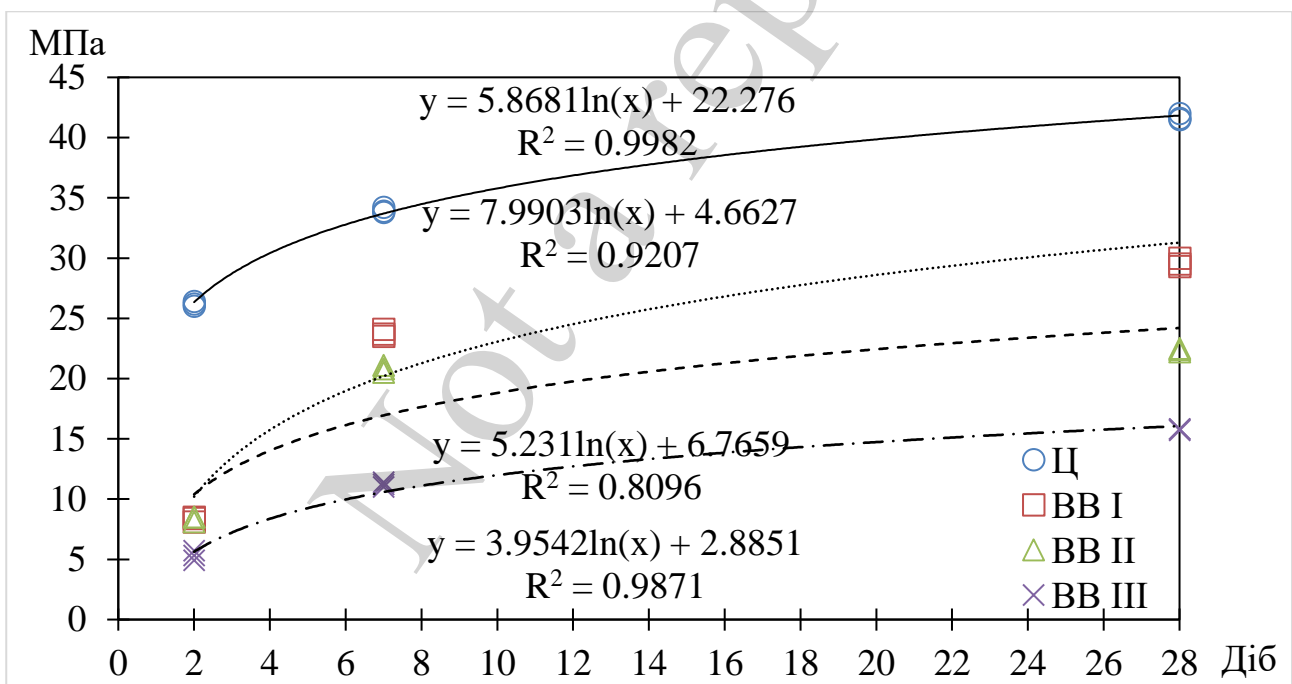


Рис. 4. Лінії тренда залежності міцності цементу від концентрації добавки ефіру целюлози високої в'язкості

### 5.3. Корозійна стійкість цементів з добавками метилгідроксиетилцелюлози

Сухі будівельні суміші використовують в різних умовах, в тому числі, і в умовах агресивних середовищ. Тому важливе значення мають показники корозійної стійкості цементної матриці.



Отримані результати свідчать, на прикладі добавки метилгідроксиетилцелюлози низької в'язкості (рис. 5), що із зростанням вмісту добавки в цементі корозійна стійкість монотонно знижується. Винятком є суміш з 0,25 мас. % добавки, в цьому випадку стійкість зразків навіть дещо зростає.

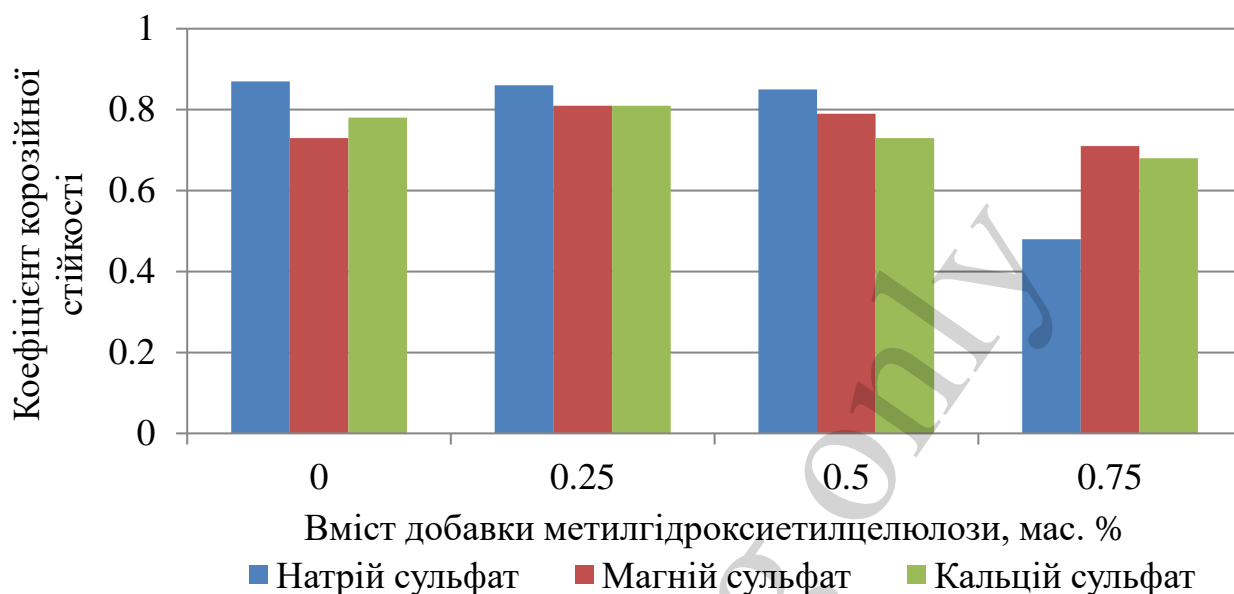


Рис. 5. Вплив концентрації добавки метилгідроксиетилцелюлози низької в'язкості на коефіцієнт корозійної стійкості цементної матриці

Слід відзначити різке падіння корозійної стійкості зразків при вмісті добавки 0,75 мас. %. Найбільше це відбувається в умовах розчину сульфату натрію.

## 6. Обговорення результатів впливу метилгідроксиетилцелюлози на властивості цементної матриці

Висока здатність метилгідроксиетилцелюлози утримувати воду підтверджується значним підвищенням нормальної густоти цементного тіста. Слід зазначити, що ефір целюлози високої в'язкості утримує значно більше води, ніж низької і середньої в'язкості. Так, при введенні добавок низької і середньої в'язкості нормальна густота підвищується, відповідно при 0,25 мас. % і 0,75 мас. % на 5,4 – 16,8 %, а для ефіру високої в'язкості, відповідно, на 21,3 – 41,4 % (табл. 1). Це пояснює і значне збільшення строків тужавлення. Частина води не вступає в реакцію з клінкерними мінералами, що і сповільнює протікання цього процесу.

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

В частині впливу концентрації добавки ефіру целюлози на міцність цементної матриці, треба відмітити, що міцність вихідного цементу вища за його міцність з добавками незалежно від концентрації останніх. Крім того, що найбільше зниження показника міцності відбувається у ранні строки тверднення (1–7 діб) і складає, в залежності від концентрації добавки, відповідно в 2,2–4,2 рази. При подальшому твердненні різниця міцності менш значна і при досягненні 28 діб тверднення поступово зближаються (рис. 2–4).



Порівнюючи між собою міцність цементів з однаковим вмістом добавок, можна зробити висновок, що вищу марочну міцність мають цементи з добавкою ефіру низької в'язкості. Так, наприклад, при концентрації 0,25 мас. % у віці 28 діб вона складає відповідно 38,0, 32,0 і 29,5 МПа. Цементи з ефіром целюлози середньої в'язкості мають параметри міцності, які близькі до попередніх, а введення добавки високої в'язкості знижує цей показник більш суттєво (рис. 2–4).

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

Вибрані агресивні розчини містять сульфат-аніони, але в залежності від наявних катіонів руйнування зразків протікає, скоріше за все, за різними механізмами.

Виходячи з наявності активних іонів в розчинах, ймовірно, що руйнування в системах сульфат натрію – цемент і сульфат кальцію – цемент відбувається за рахунок утворення гідросульфоалюмінату кальцію з подальшим виникненням механічних напружень в камені і, як наслідок, його поступового руйнування.

Деяко складніший процес може протікати при наявності сульфату магнію. По-перше, обмінні реакції, скоріше за все, призводять до утворення гідроксиду магнію, який не має механічної міцності, а, по-друге, є можливість утворення гідросульфоалюмінату кальцію.

Якщо порівнювати можливі реакції, то найбільш агресивним має бути розчин сульфату магнію. Так і відбувається на прикладі бездобавочного цементу: коефіцієнт корозійної стійкості в нього найнижчий саме і цьому розчині (0,73, проти 0,87 в розчині сульфату натрію і 0,78 у розчині сульфату кальцію) (рис. 5).

Зовсім інші результати при введенні ефіру целюлози. Так, введення 0,25 мас. % покращує корозійну стійкість в розчинах сульфатів магнію і кальцію та залишає практично на тому ж рівні в розчині сульфату натрію. І навіть при введенні 0,50 мас. % добавки дозволяє покращити коефіцієнт корозійної стійкості в розчині сульфату магнію у порівнянні з цим показником для цементів без добавок. Подальше зростання вмісту добавок в цементах призводить до різкого падіння цього показника (рис. 5).

Це свідчить про необхідність обережного введення добавки метилгідроксиетилцелюлози в сухі будівельні суміші на основі цементної матриці.

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.

Отримані результати доводять, що підвищення в'язкості ефіру целюлози призводить до більшого зниження міцності цементної матриці. При виробництві сухих будівельних сумішей доцільно використовувати метилгідроксиетилцелюлозу низької і середньої в'язкості. Це дозволить досягати необхідної густоти розчинів і надавати їм більш високої міцності та стійкості в агресивних середовищах.

Таким чином, отримані результати свідчать, 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.

Відомі роботи по вивченню впливу ефірів целюлози на процеси гідратації [5, 6, 9–14], але фактор в'язкості ефірів целюлози досі не вивчався та не враховувався при проектуванні складів сумішей.

Подальші дослідження мають бути направлені на вивчення впливу на цементну матрицю інших складових сухих будівельних сумішей. Це, в першу чергу, редиспергуючі порошки, а також комплексний вплив всіх основних складових сухих будівельних сумішей на фізико-механічні властивості цементної матриці.

Отримані результати можуть використовуватися при виробництві даних матеріалів для оптимізації їх складів та прогнозування стійкості в різних агресивних середовищах.

## **6. Висновки**

1. Введення ефіру целюлози в цемент призводить до збільшення нормальної густоти тіста і подовження строків тужавлення розчинів. Нормальна густина розчинів зростає при введенні ефірів целюлози низької (НВ) і середньої в'язкості (СВ) на 5,4–16,8 %, а для ефіру високої (ВВ) на 21,3–41,4 %, а строки тужавлення збільшуються в 2–4 рази.

2. В'язкість добавок ефіру по різному впливає на міцність цементної матриці. Незалежно від в'язкості добавок ефіру целюлози відмічається зниження показника міцності в ранні строки тверднення (1–7 діб) і складає, в залежності від концентрації добавок, відповідно в 2,2–4,2 рази. Найменше знижує міцність цементного каменю ефір целюлози низької в'язкості, найбільше – високої в'язкості. Із зростанням в'язкості ефіру целюлози зростає і його негативний вплив на міцність цементу. Зниження її, у порівнянні з бездобавочним цементом, у віці 28 діб складає для ефіру низької в'язкості при концентраціях: 0,25 мас. % – 14,3 %, 0,50 мас. % – 23,9 %, 0,75 мас. % – 40,5 %, для ефіру середньої в'язкості, відповідно, 23,8; 26,2 і 33,3 %, для ефіру високої в'язкості 28,6; 45,2 і 61,0 %.

3. Корозійна стійкість цементної матриці суттєво залежить від концентрації метилгідроксиетилцелюлози. При незначній кількості добавки (0,25 мас. %) цей показник навіть дещо покращується. У порівнянні із цементом без добавок, який зберігався в аналогічних агресивних умовах, відмічається підвищення корозійної стійкості зразків з добавками ефірів целюлози в розчині сульфату магнію на 10,9 %, а в розчині сульфату кальцію на 3,8 %. В розчині сульфату натрію показники практично однакові. При зростанні концентрації добавки до 0,75 мас. % відмічається значне зниження стійкості зразків в розчинах сульфатів натрію, магнію і кальцію, відповідно, на 44,8 %, 2,9 % та 12,8 %.

## **Література**

1. Ринок сухих будівельних сумішей: стан та прогнози (інфографіка) (2019). Будівельний портал. URL: <http://budport.com.ua/news/13193-rinok-suhih-budivelnih-sumishey-stan-ta-prognozi-infografika>

2. Dry Mix Mortar Market Share 2020-2026. URL: <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. Patural, L., Marchal, P., Govin, A., Grosseau, P., Ruot, B., Devès, O. (2011). Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars. *Cement and Concrete Research*, 41 (1), 46–55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.004>
5. 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: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.01.011>
6. Spychał, E. (2015). The Effect of Lime and Cellulose Ether on Selected Properties of Plastering Mortar. *Procedia Engineering*, 108, 324–331. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.154>
7. Флейшер, Г. Ю., Токарчук, В. В., Свідерський, В. А. (2015). Використання хімічної добавки, яка складається з продуктів переробки полімерної фракції твердих побутових відходів, в якості прискорювача тверднення цементу. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 4 (6 (76)), 23–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47731>
8. Флейшер, Г. Ю., Токарчук, В. В., Свідерський, В. А. (2015). Вплив гідрофобізуючих добавок на властивості цементів. *Технологический аудит и резервы производства*, 3 (4 (23)), 32–37. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.43747>
9. Ma, B. G., Su, L., Jian, S. W., Zhao, Z. G., Liu, M. (2012). Early Stage Hydration Process of Hydroxypropyl Methyl Cellulose Ether Modified Cement Pastes. *Advanced Materials Research*, 476-478, 1709–1713. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.476-478.1709>
10. Büllichen, D., Kainz, J., Plank, J. (2012). Working mechanism of methyl hydroxyethyl cellulose (MHEC) as water retention agent. *Cement and Concrete Research*, 42 (7), 953–959. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.03.016>
11. Zhang, G., He, R., Zhao, G., Wang, Y., Wang, P. (2017). Effect of Hydroxyethyl Methyl Cellulose on the Morphology Characteristics of Ca(OH)<sub>2</sub> in Portland Cement Paste. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 20 (4), 495–500. doi: <http://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9629.2017.04.001>
12. Zhang, G., Wang, P.-M. (2010). Effects of hydroxyethyl methyl cellulose on cement hydration products at the early hydration period. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 13 (5), 573–577. doi: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9629.2010.05.003>
13. 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: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.01.007>
14. 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: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9629.2014.01.002>

15. 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: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08820-6>
16. Al-Dulaijan, S. U., Maslehuddin, M., Al-Zahrani, M. M., Sharif, A. M., Shameem, M., Ibrahim, M. (2003). Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to varying concentrations of sodium sulfate. *Cement and Concrete Composites*, 25 (4-5), 429–437. doi: [https://doi.org/10.1016/s0958-9465\(02\)00083-5](https://doi.org/10.1016/s0958-9465(02)00083-5)
17. Estokova, A., Kovalcikova, M., Luptakova, A., Prascakova, M. (2016). Testing Silica Fume-Based Concrete Composites under Chemical and Microbiological Sulfate Attacks. *Materials*, 9 (5), 324. doi: <https://doi.org/10.3390/ma9050324>
18. Baghabra Al-Amoudi, O. S. (2002). Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments. *Cement and Concrete Composites*, 24 (3-4), 305–316. doi: [https://doi.org/10.1016/s0958-9465\(01\)00082-8](https://doi.org/10.1016/s0958-9465(01)00082-8)
19. 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: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00127-5](https://doi.org/10.1016/0008-8846(96)00127-5)
20. Zhang, G., Zhao, J., Wang, P., Xu, L. (2014). Effect of HEMC on the early hydration of Portland cement highlighted by isothermal calorimetry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 119 (3), 1833–1843. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-014-4346-6>
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: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9629.2013.01.023>
22. Шейніч, Л. О., Приймаченко, А. С. (2016). Моделювання процесу корозії високоміцних бетонів у сульфатному середовищі. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 2 (6 (80)), 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.64113>