

УДК 691.5

Червенко Є.М., асистент, Гасан Ю.Г., канд. техн. наук,
проф., Тарасевич В.І., канд. техн. наук, доцент,
Київський національний університет будівництва та
архітектури, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ШТУЧНОГО КАМЕНЮ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОЇ ГПСОЦЕМЕНТНОПУЦОЛАНОВОЇ В'ЯЖУЧОЇ РЕЧОВИНИ ТА ЇХ ВРАХУВАННЯ ПРИ УТОЧНЕННІ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОСТІЙКОСТІ

Досвід використання матеріалів на основі гіпсоцементнопуцоланової в'язучої речовини (ГЦПВ) показує, що незважаючи на їх підвищену, порівняно з гіпсом, водостійкість, досить часто трапляються випадки руйнування таких матеріалів під час експлуатації. Це пов'язано з виникненням в структурі штучного каменю деструктивних процесів внаслідок пізнього утворення еtringіту та можливої його карбонізації з утворенням таумаситу, які обумовлюють міжкристалічний тиск, призводять до виникнення тріщин та руйнування виробу. Внаслідок відсутності сталих методів визначення водостійкості не завжди можливе об'єктивне її визначення з урахуванням тривалої експлуатації виробів. Все це обмежує повноцінне використання таких в'язучих речовин у будівництві.

Щоб усунути зазначені недоліки запропоновано використовувати в складі ГЦПВ модифікуючу добавку та провести уточнення методики визначення водостійкості будівельних матеріалів, які містять в своєму складі повітряні в'язучі речовини.

Дослідження структури штучного каменю на основі такої модифікованої ГЦПВ доводить (рис. 1), що внаслідок впливу на процеси структуроутворення запропонованих добавок відбувається підвищення щільності каменю новоутвореннями, які переважно представлено карбонатами та гідросилікатами кальцію.

Було встановлено, що утворені гідросилікати кальцію розміщуються не тільки в поровому просторі, утвореному кристалами двогідрату сульфату кальцію та еtringіту, а й конденсуються на поверхні цих кристалів. Наведений вплив цих добавок на особливості структуроутворення штучного каменю сприяє підвищенню водостійкості [1,2].

Відомо [3], що, внаслідок впливу іонів SO_4^{2-} на кристалічну решітку гідросилікату кальцію, гіпс діє як прискорювач процесу гідратації C_3S , збільшуючи кількість утвореного гелю, однак, протилежним чином впливає ступінь полімеризації структури. За результатами досліджень [3] встановлено, що розвиток питомої поверхні гідросилікатів кальцію вказує на зниження їх основності.

Підвищення міцності зв'язків у структурі і, як наслідок, міцності штучного каменю пов'язане з процесом полімеризації SiO_4 - тетраедрів, який знижує основність гідросилікатів кальцію. Кількість складних радикалів збільшується за рахунок зростаючого переходу відокремлених силікатів у стрічкові.

За результатами електронної мікроскопії (рис. 2) встановлено, що при введенні запропонованої добавки збільшується питома поверхня новоутворень гідросилікатів кальцію, які ідентифіковані як низькоосновні та мають чітко виражену просторову будову.

Наведені особливості процесів перетворення гідросилікатів кальцію є прямим підтвердженням зниження розчинності гіпсу.

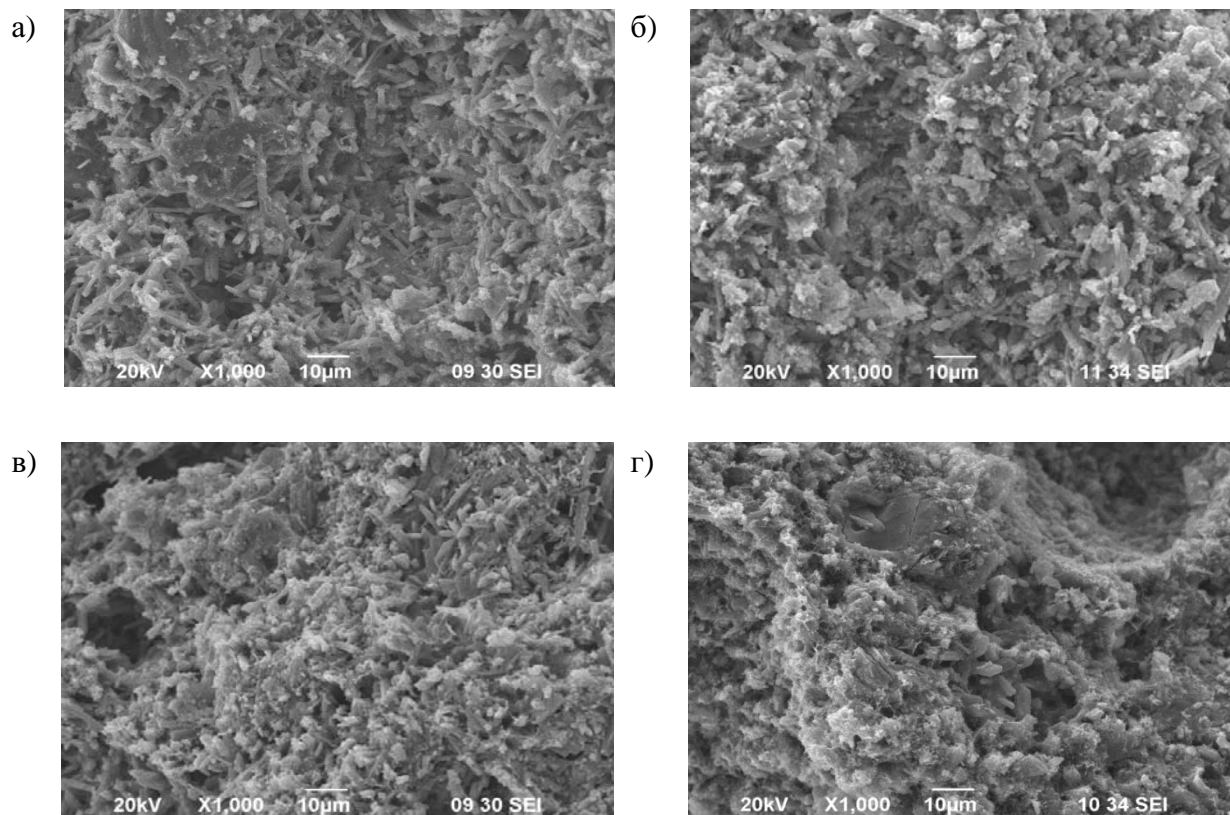


Рисунок 1. Знімки електронного мікроскопа $\times 1000$ поверхні сколу штучного каменю на основі:

- а) ГЦПВ; б) ГЦПВ, модифікованої BaCO_3 ; в) ГЦПВ, модифікованої TiO_2 ;
г) ГЦПВ, модифікованої $\text{BaCO}_3 \cdot 3\text{TiO}_2$

Наявність у штучному камені еtringіту обумовлена особливостями складу та структуроутворення ГЦП систем. Первинний каркас штучного каменю, головним чином, представлений кристалами $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, які викристалізуються з пересиченого розчину сульфату кальцію та приводять до тужавіння і зміцнення структури. На ранніх стадіях гідратації мінералів портландцементу виникає значна кількість призматичних кристалів еtringіту [4]. Його спонтанна кристалізація полегшується присутніми в рідинній фазі численними частками різноманітних домішок, які служать зародками (центрами) кристалів. В якості таких зародків можуть бути компоненти модифікуючої добавки. Надалі відбувається зростання призм еtringіту, завдяки розчиненню метастабільних дрібних кристалів і стабілізації більших. Ці кристали випадають із розчину еtringіту, розташовуючись радіально по відношенню до поверхні вихідних зерен і в процесі росту з'єднують їх в єдиний кристалізаційний каркас. Разом з тим, структура набуває значної жорсткості за рахунок контактів зрощення між кристалами двогідрату сульфату кальцію, еtringіту та зернами портландцементу і БС-100. Цьому значною мірою сприяє заповнення порожніх ділянок каркасу волокнистими гідросилікатами кальцію.

Таким чином, первинну структуру штучного каменю, виготовленого з модифікованої ГЦПВ, можна представити як новоутворення, які складаються із залишків зерен вихідних компонентів та з'єднують ці зерна, кристалів двогідрату сульфату кальцію і еtringіту, які переплітаються між собою, та волокнистих кристалів гідросилікатів кальцію, що заповнюють міжкристалічні порожнечі. Міцність первинної структури в основному повинна залежати від міцності кристалів гіпсу та еtringіту, міцності кристалів волокнистих гідросилікатів кальцію і від кількості контактів утворених кристалів з вихідними зернами цементу.

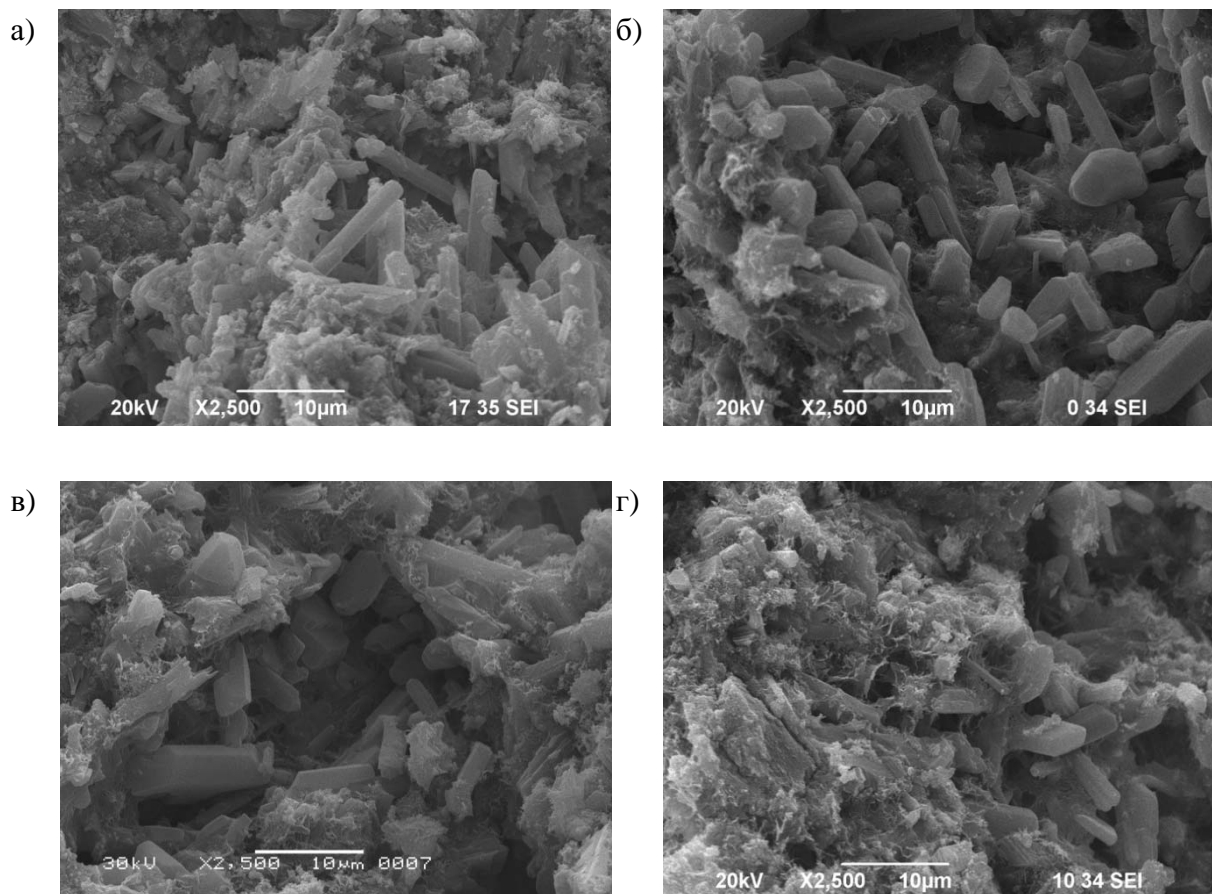


Рисунок 2. Знімки електронного мікроскопа $\times 2500$ поверхні сколу штучного каменю на основі: а) ГЦПВ; б) ГЦПВ, модифікованої BaCO_3 ; в) ГЦПВ, модифікованої TiO_2 ; г) ГЦПВ, модифікованої BaCO_3 з TiO_2

Вищевикладене та відсутність будь-яких ознак деструктивних процесів у штучному камені дає підстави вважати, що еtringіт утворився на початковій стадії структуроутворення. Це цілком обґрунтовано та прийнятно для даної системи.

Визначення водостійкості прийнято проводити двома способами. Згідно з першим способом, визначається міцність зразка після повного його водонасичення, за другим способом визначається водостійкість при тривалому водонасиченні – зразок витримують у воді протягом 15 діб, після чого порівнюють його міцність з контрольними зразками. Однак практика [90] показує, що такі способи не дозволяють реально оцінити водостійкість матеріалів, які містять у своєму складі повітряні в'язучі речовини.

Зразки досліджуваного матеріалу можуть мати коефіцієнт розм'якшення 0,8 ... 0,9 при водонасиченні протягом 15 діб, а при подальшому (або повторному, проведеному через деякий час) випробуванні водостійкість, як правило, різко знижується. Були випадки, коли матеріал мав показники $K_{\text{в}} = 0,63 \dots 0,65$ і тому їх не можна вважати водостійкими, однак, при повторному випробуванні (через 3-6 місяців) за стандартними методиками вони вже мали $K_{\text{в}} = 0,78 \dots 0,82$ і ставали водостійкими.

Аналіз літературних джерел і наукових публікацій довів, що об'єктивних, сталих і детально розроблених методів оцінки водостійкості і стійкості до атмосферних впливів гіпсового та гіпсовміщуючого матеріалу не існує.

У роботах академіка П.П. Буднікова [5] за основний критерій оцінки водостійкості приймали показники міцності на стиск зразків повітряного і водного твердіння. Виготовлені зразки залишали тверднути на повітрі протягом 7 діб, після чого деякі з них занурювали у воду, а інші

залишали тверднути на повітрі. Випробування проводили у віці 3, 7, 28 і 90 діб. Також проводили випробування за методом перемінного зволоження і висушування, що здійснювали таким чином: зразки висушували при температурі 45...50 °С, а потім піддавали насиченню водою. Після цього операції повторювали. У процесі випробувань фіксували момент руйнування кутів і граней на зразках, що вважали початком руйнування матеріалу. Г.Д. Копелянський [6] у своїх дослідженнях визначав водостійкість за результатами перебування зразків у воді протягом однієї і тридцяти діб, водонасиченням за рахунок капілярного підсосу, випробуванням зразків шляхом попереминого зволоження і висушування. Зволоження проводили штучним дощем п'ятнадцятихвилинної і двогодинної тривалості. У ході дослідження головним критерієм була зміна міцності зразків при стиску. Деякі дослідники [7] при розробці водостійких гіпсовміщуючих композицій визначали границі міцності при стиску і глибину розмивання поверхні струменем води діаметром 2 мм протягом 4 діб. Проте виявити взаємозв'язок між цими методами складно тому, що при збільшенні глибини розмивання повинен зменшуватися коефіцієнт розм'якшення, а на практиці цього не відбувається.

Однією зі спроб реально оцінити водостійкість можна вважати роботу [8], в якій було обрано структурно більш чутливим показником міцність на вигин. Згідно з думкою автора на такий вид міцності повинні суттєво впливати розриви точкових контактів між кристалами та зміна внутрішніх напружень внаслідок розклинюючої дії води, тощо. Однак, взаємозв'язок розклинюючої дії водних плівок з міцністю на вигин характеризує ступінь водостійкості матеріалу на момент проведення експерименту і не гарантує його збереження в часі.

Було прийнято, що при оцінці водостійкості матеріалів, що містять у своєму складі повітряні в'язучі речовини, необхідно враховувати зміну інтегральної та диференціальної пористості для зразків, які знаходились у повітряно-сухих умовах, і тих, які були у воді, на різних стадіях формування їх структури, оскільки зміна диференціальної пористості істотно впливає на характеристики масопереносу, що, в свою чергу, визначає швидкість насичення матеріалу вологою. Крім того, розчинені у воді продукти гідратації та складові матеріалу впливають на коефіцієнт масопереносу. Інтегральна пористість визначає кількість поглинутої вологи, що також впливає на водостійкість матеріалу. Врахування зазначених параметрів дозволить суттєво підвищити достовірність оцінки водостійкості таких матеріалів.

Структура матеріалу впливає на швидкість просочування, ефективність якого визначається не загальною пористістю, а відкритою. Проте необхідно враховувати, що штучний ГЦП камінь містить не тільки наскрізні капіляри, але й тупикові та квазитупикові, особливістю яких є здатність защемляти повітря при просочуванні. Із просуванням фронту просочування тиск повітря, яке защемлене в капілярі, підвищується, а швидкість просочування зменшується. При досягненні рівня підняття рідини по капіляру, при якому величина сили капілярного тиску зрівнюється з тиском защемленого в капілярі повітря, матеріал припиняє вбирати рідину. Якщо просочування проводити при атмосферному тиску, то рідина заповнює пори матеріалу тільки під дією капілярних сил.

Коефіцієнт масопереносу a_m природних і штучних капілярно-пористих будівельних матеріалів розраховують за результатами вимірювання кінетики капілярного просочування. Ці характеристики необхідні для прогнозування ряду експлуатаційних властивостей матеріалів, зокрема водостійкості. Як рідину для просочування використовують воду, водні розчини, гас, а також інші рідини, які є інертними до обраних матеріалів. Одномірність просочування зразка забезпечують вологоізоляцією його бічних граней.

Для підвищення надійності вимірювань виготовляють і досліджують не менше трьох зразків-близнюків. Рекомендована форма зразків - куб з ребром l_p . Можна використовувати зразки у вигляді призм або циліндрів висотою l_p , а також пластини товщиною l_p . Якщо матеріал неоднорідний (містить крупний заповнювач), розміри зразків необхідно вибирати так, щоб вони в 2-3 рази перевищували розміри неоднорідності. Торцеві грані зразка, через які відбувається просочування рідиною, ретельно зачищають за допомогою наждачного паперу до отримання однорідної структури

поверхні, характерної для даного матеріалу.

Підготовлений зразок сушать в сушильній шафі до постійної маси, після чого розміщують в ексікаторі над їдким натром, де він остигає. На бічні грані зразка наносять тонкий шар вологоізоляції (технічний вазелін) і стежать за тим, щоб обмазка не потрапляла на зачищені торцеві грані. З тонкого дроту виготовляють тримач з петлею, за допомогою якої зразок закріплюють до штанги ваг. Петлю розміщують так, щоб торцеві грані зразка в підвішеному стані були розташовані горизонтально. Вимірявши за допомогою штангенциркуля відстань l_1 між торцевими гранями і зваживши підготовлений зразок (визначивши P_0), приступають до вимірювання кінетики капілярного просочування.

Зразок, підвішений до штанги ваг, опускають у рідину і вмикають секундомір. Початок процесу просочування збігається з моментом контакту зразка з рідиною. У процесі досліду записують показання ваг $F(\tau)$ через певні інтервали часу.

Запис кінетики припиняють, якщо протягом 30 хв. зміна показань ваг не перевищує 0,02 г. Після цього зразок звільняють від штанги ваг і залишають у посудині з рідиною на 24 години. Останню точку на кривій кінетики просочування F_m , що відповідає повному насиченню зразка, визначають після закінчення 24 год. його перебування в рідині. Після цього зразок виймають з рідини, звільняють від крапель і зважуванням на повітрі визначають його масу P_m після насичення.

За результатами вимірювань розраховують максимальну масовмісткість зразка за формулою:

$$U_m = \frac{P_m - P_0}{P_0} \quad U_m = \frac{P_m - P_0}{P_0} \quad (1)$$

За результатами вимірювань розраховують також відносну масовмісткість зразка в різні моменти часу за формулою:

$$v = 1 - \frac{F_m - F}{P_m - P_0} \quad v = 1 - \frac{F_m - F}{P_m - P_0} \quad (2)$$

Для всіх значень vv , менших 0,48, обчислюють допоміжну величину $v^2 v^2$, а більших 0,48, обчислюють допоміжну величину $\ln(1 - v)\ln(1 - v)$.

На основі отриманих даних будують графік залежності $v^2 = f, (\tau)v^2 = f, (\tau)$. Шляхом графічного диференціювання кривої знаходять величину $\frac{dv^2 dv^2}{d\tau d\tau}$ і за допомогою формули:

$$a_m = \frac{\pi l_1^2}{16} \times \frac{dv^2}{d\tau} \quad a_m = \frac{\pi l_1^2}{16} \times \frac{dv^2}{d\tau} \quad (3)$$

обчислюють коефіцієнт масопереносу a_m для різних моментів часу.

Для підвищення достовірності результатів запропоновано методику визначення водостійкості [9], що здійснюється шляхом порівняння результатів фізико-механічних характеристик та оцінювання стійкості структури матеріалу до впливу води. Для дослідження структури матеріалу запропоновано визначати кінетику капілярного просочування, яка показує швидкість проникнення рідини, час повного насичення і кількість поглинутої зразком рідини.

Водостійкість визначають порівнюючи характеристики зразків, що знаходилися в повітряно-сухих умовах і зразків, які були у воді.

Кінетику капілярного просочування і зміну від впливу води показників міцності визначають на зразках, підготовлених по кожному з трьох варіантів:

- I - визначення водостійкості при повному водонасиченні. Згідно з цим варіантом, зразки піддають повному водонасиченню в природних умовах занурюючи їх в посудину з водою, що має температуру $20 \pm 2^\circ\text{C}$, таким чином, щоб вода покрила зразки не менше, ніж на 3 см. Зразок вважається повністю водонасиченим тоді, коли не відбувається приріст його маси при зважуванні на повітрі. Після цього зразки витягують з посудини і обтирають м'якою тканиною;

- II - визначення водостійкості при тривалому водонасиченні. Згідно з цим варіантом, зразки повністю водонасичуються в природних умовах шляхом занурення їх в посудину з водою, що має температуру $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, таким чином, щоб вода покрила зразки не менше, ніж на 3 см. Після повного водонасичення зразки переносять в іншу посудину з водою, в якій їх витримують протягом 15 діб;

- III - прискорене визначення водостійкості, згідно з ним зразки занурюють в посудину з водою і термостатують протягом 1 години при температурі $50\pm 2^{\circ}\text{C}$. Потім посудину із зразками розміщують у вакуумно-сушильній шафі з температурою $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ і вакуумують протягом 1 години при тиску не більше 2000 Па (15 мм. рт.ст.). Далі тиск у шафі доводять до атмосферного, і зразки витримують у тій же посудині при температурі $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ ще 1 годину. Після цього температуру знижують до $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ і витримують зразки при цій температурі протягом 1 години. Цей варіант призначений для попередніх випробувань і накопичення статистичних даних з нормування показників водостійкості матеріалів, що визначаються прискорено.

Після закінчення випробування у воді, частину зразків, на яких визначають кінетику капілярного просочування, виймають, висушують до постійної маси при температурі $55\pm 2^{\circ}\text{C}$ та ізолюють від проникнення рідини всі поверхні крім однієї торцевої.

Визначення кінетики капілярного просочування проводять на зразках, які зберігали в повітряно-сухих умовах, і зразках, які проходили випробування у воді. Зразки повинні мати однаковий розмір і форму. Для зменшення їх кількості допускається використання одних і тих же зразків, що проходили випробування в воді, спочатку для визначення кінетики капілярного просочування, а потім для оцінки зміни показників міцності.

Для визначення кінетики капілярного просочування проводять гідростатичне зважування зразків. На основі отриманих результатів будують графік, на якому позначають криві залежності швидкості просочування від кількості поглинутої рідини для зразків, які перебували в повітряно-сухих умовах, і зразків, які проходили випробування у воді. Приклад графіка наведено на рис. 3.

Порівняння отриманих кривих дає можливість об'єктивно оцінити вплив води на структуру матеріалу.

Структура матеріалу є стійкою до впливу води якщо:

1. Зменшуються або однакові показники швидкості проникнення рідини, зменшується або однакова кількість поглинутої рідини в матеріалі, який проходив випробування у воді (рис. 3 б, крива В) і не збільшився час до повного насичення зразка, в порівнянні з матеріалом, який зберігався в повітряно-сухих умовах (контрольним зразком) (рис. 3 б, крива А).

2. Збільшується швидкість проникнення рідини, а кількість поглинутої рідини зменшується або однакова, і збільшився час до повного насичення зразка в матеріалі, який проходив випробування у воді, в порівнянні з матеріалом, який зберігався в повітряно-сухих умовах (контрольним зразком).

Структура матеріалу є нестійкою до впливу води, якщо збільшується, зменшується або залишається незмінною швидкість проникнення рідини, і збільшується кількість поглинутої рідини в матеріалі, що проходив випробування у воді, в порівнянні з матеріалом, який зберігався в повітряно-сухих умовах (контрольним зразком). При цьому час до повного насичення зразка може збільшитися, зменшитися або залишитися незмінним.

Отже, за допомогою зазначеного методу необхідно встановити, чи відбуваються процеси руйнування матеріалу на рівні структури або відбуваються такі її перетворення, які ускладнюють або запобігають потраплянню вологи в матеріал.

Паралельно, а з метою економії зразків, після проведення капілярного просочування, оцінюють ступінь зміни міцності зразків після впливу на них води, порівнюючи міцність зразків, що проходили випробування у воді, і зразків, що зберігалися в повітряно-сухих умовах.

Водостійкість K_v за показниками міцності визначають за формулою:

$$K_g = \frac{R_{cm}^g}{R_{cm}^{сух}} \quad (4)$$

де R_{cm}^g - границя міцності при стиску або згині при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ зразків, що проходили випробування в воді, МПа;

$R_{cm}^{сух}$ - границя міцності при стиску або згині при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ контрольних зразків, що зберігалися в повітряно-сухих умовах, МПа.

Матеріал є водостійким, якщо ступінь зміни міцності $K_g \geq 0,8$ і структура матеріалу є стійкою до впливу води.

Матеріал є неводостійкий, якщо ступінь зміни міцності $K_g \leq 0,8$ і структура матеріалу є нестійкою до впливу води.

Якщо на момент проведення випробування ступінь зміни міцності становить $K_g \geq 0,8$, а структура матеріалу є нестійкою до впливу води, існує ймовірність зниження водостійкості тому, що за результатами капілярного просочування прогнозується руйнування матеріалу. Виходячи з цих результатів, не можна стверджувати, що матеріал є водостійким.

Якщо на момент проведення випробування ступінь зміни міцності становить $K_g \leq 0,8$, а структура матеріалу є стійкою до впливу води, існує ймовірність того, що в структурі матеріалу продовжують відбуватися перетворення, внаслідок яких, в подальшому, ступінь зміни міцності може збільшитися до рівня $K_g \geq 0,8$. Виходячи з цих результатів, не можна стверджувати, що матеріал є неводостійкий, оскільки, за результатами капілярного просочування прогнозується підвищення водостійкості. Для підтвердження або спростування висновку необхідно продовжити термін знаходження зразків у воді і провести повторні експерименти по оцінці ступеня зміни міцності і капілярного просочування або повторити дослідження на аналогічному матеріалі, який має більший вік.

В оптимальному варіанті реалізації необхідно проводити порівняння зразків, що зберігалися в повітряно-сухих умовах, з тими, які протягом 15 діб піддавалися впливу води. Вік контрольних зразків і тих, які проходили випробування у воді, повинен бути однаковим.

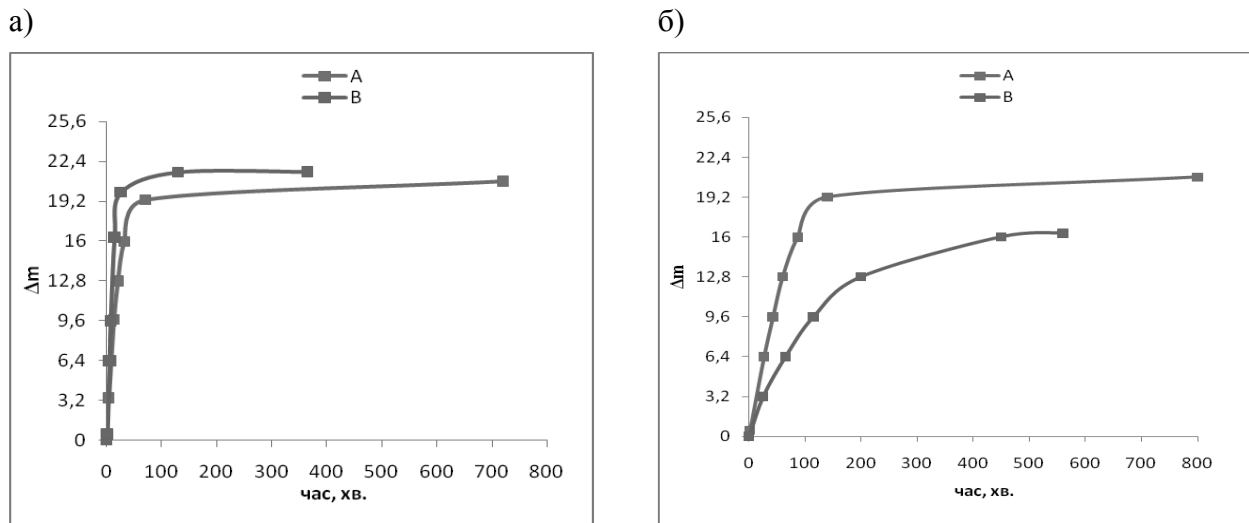
Розроблений спосіб дозволяє прогнозувати зміну або збереження результатів дослідження і може застосовуватися для об'єктивного визначення показників водостійкості.

Визначення зміни структурних характеристик штучного каменю від впливу вологи дозволяє підтвердити або поставити під сумнів результати визначення водостійкості матеріалу, отримані за стандартною методикою. Цілком логічно стверджувати, що за рахунок зміни кінетики капілярного просочування і коефіцієнта масопереносу можна прогнозувати здатність матеріалу руйнуватися від впливу вологи або чинити опір її дії. Зниження коефіцієнта масопереносу для зразків, які піддалися впливу вологи, порівняно з тими, що зберігалися в повітряно-сухих умовах, дає підстави вважати такий матеріал водостійким і таким, що покращує свої властивості в результаті впливу вологи.

Для виявлення впливу добавок CaCO_3 та TiO_2 на зміну кінетики капілярного просочування, проведено низку експериментів, в яких визначалася залежність коефіцієнта масопереносу рідини a_m від часу просочування t .

Дослідження проводили за вищенаведеною методикою на штучному камені, виготовленому з ГЦПВ і оптимального складу модифікованої ГЦПВ, який зберігався 30 діб після виготовлення в повітряно-сухих умовах. Зразки мали розмір $4 \times 4 \times 4$ см.

Для визначення кінетики капілярного просочування штучного ГЦП каменю було використано ГЦПВ, що містить 65% гіпсової в'язучої речовини та 35% портландцементу з БС-100. Водостійкість такого ГЦП каменю становила $K_g = 0,68$. Результати визначення кінетики капілярного просочування показують (рис. 3 а), що, внаслідок тривалого впливу води на штучний ГЦП камінь, збільшується кількість поглинутої рідини і зменшується час повного насичення зразка рідиною.



Штучний камінь знаходився: А – в повітряно-сухих умовах, В - у воді

Рисунок 3. Кінетика капілярного просочування штучного каменю:
а) ГЦПВ; б) модифікованої ГЦПВ

Очевидно (рис. 3 а), що утворена порова структура штучного ГЦП каменю за характером, в основному, представлена відкритими порами, і має незначну кількість тупикових і квазитупикових пор, наявність яких приводить до збільшення часу повного насичення зразка. Отримані результати показують, що внаслідок впливу води на штучний ГЦП камінь відбувається руйнування тупикових і квазитупикових пор, що призводить до зменшення часу повного насичення зразка рідиною, а підвищення коефіцієнта масопереносу дає підстави вважати, що відбувається збільшення відносного діаметра пор.

Вищевикладене дає підстави вважати такий матеріал недовговічним при експлуатації його в умовах тривалого впливу води і підвищеної вологості повітря. Крім того, підтверджуються отримані висновки стандартної методики щодо водостійкості даного матеріалу.

Проведені дослідження впливу модифікуючої добавки на кінетику капілярного просочування показали (рис. 3 б), що її дія змінює характер пористості штучного каменю.

Аналіз кривої А (рис. 3 б) показує, що введення до складу ГЦПВ такої добавки впливає на зміну порової структури штучного каменю приводить до значного зниження кількості поглинутої рідини та швидкості просочування для зразка, який зберігався в повітряно-сухих умовах (крива А), і ще більше - для зразка, який знаходився у воді (крива В), порівняно із зразком, виготовленим з не модифікованої ГЦПВ.

На основі отриманих експериментальних даних можна зробити висновок, що запропонована добавка приводить до зміни характеру порової структуру за рахунок часткового або повного закупорювання пор новоутвореннями, зміни наскрізних капіляр на тупикові і квазитупикові та зміни поперечного їх перерізу до стану, при якому виникає облітерація капілярів, а виникнення деструктивних процесів в штучному камені на пізніх стадіях тверднення та під час експлуатації виробів вдалося уникнути за рахунок прискорення такою добавкою процесів кристалізації гідросилікатів кальцію та еtringіту.

Також наведені результати дозволили вдосконалити методику визначення водостійкості, що здійснюється шляхом порівняння результатів фізико-механічних характеристик та оцінювання стійкості структури матеріалу до впливу води, яка визначається за допомогою методу капілярного просочування. Отримані результати дозволяють об'єктивно оцінити ступінь водостійкості та спрогнозувати її збереження в часі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Червенко Є.М. Модифікована композиційна гіпсовміщуюча в'язуча речовина та розчини на її основі. Зб. «Будівельні матеріали виробу та санітарна техніка» –К., НДІБМВ, 2012. - Вип. 44. - С. 143-153.
2. Червенко Є.М., Гасан Ю.Г. Композиційна гіпсовмісна в'язуча речовина. Патент України №511449 опубліковано 12.07.2010. - Бюл.№13/2010.
3. Пунагин В.В. Особенности структурообразования гидросиликатов кальция в активированной цементной системе. //Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Сучасні будівельні матеріали, 2011. - Вип. 2011-1(87). - С. 68-73.
4. Холодный А.Г. Исследование особенностей структурообразования при твердении портландцемента, рядового и быстротвердеющего шлакопортландцемента с применением электронномикроскопического метода. Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва 1969.
5. Будников П.П. Гипс и его исследования. –М.: Стройиздат наркомстроя, 1943. -373 с.
6. Копелянский Г.Д. Придание штукатурному гипсу погодоустойчивости. Отчет НИЭС Моссовета.
7. Спосіб отримання водостійкого виробу (варіанти) і композиційний виріб, отриманий за цим способом. Патент РФ № 2375386.
8. Поліщук-Герасимчук Т.О. Ефективні сухі будівельні суміші на основі модифікованих гіпсових і фосфогіпсових в'язучих: Дис. к.т.н.: спец. 05.23.05. –Рівне, 2009. – 157 с.
9. Гасан Ю.Г., Червенко Є.М., Тарасевич В.І. Спосіб визначення водостійкості будівельних матеріалів та виробів //Патент України №72683 опубліковано 27.08.2012, - Бюл.№ 16/2012.