

DOI: 10.32347/2076-815x.2024.86.300-313

УДК 691.335

к.т.н., професор **Керш В.Я.**,
vkersh@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-6085-5260,
Левицький Д.В., levin3893@gmail.com, ORCID:0000-0001-5350-522X,
Тихонюк С.А., tihoniuk1984@gmail.com, ORCID: 0009-0009-9444-3905,
к.т.н., доцент **Фощ А.В.**, nikitkos@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1299-1094,
Одеська державна академія будівництва та архітектури

ПІДВИЩЕННЯ ВОДОСТІЙКОСТІ ШТУКАТУРНОЇ СУМІШІ НА ОСНОВІ ГІПСОВМІЩУЮЧОГО В'ЯЖУЧОГО

Розглядаються перспективи застосування композиційних матеріалів на основі гіпсу для ремонту пошкоджених стін будівель з вапняку-черепашника. Ремонт пошкоджених конструкцій з черепашнику цементними складами інтенсифікує руйнівні процеси; використання вапняно-піщаних сумішей для ремонтних робіт на фасадах будівель є проблемним через їх тривале твердіння. Обґрунтовується прийняття гіпсу в якості основи ремонтного складу. Застосування гіпсових композитів для зовнішніх робіт вимагає значного збільшення їхньої водостійкості. Запропоновано штукатурну суміш на золотіпсоцементному в'язучому з добавкою вапна; в планованому експерименті виготовлена серія зразків з різним вмістом компонентів. Досліджено їхню водостійкість з застосуванням двох критеріїв: звичайного - коефіцієнта розм'якшення (K_p) та нового - індексу водостійкості (I_v); виконано порівняння цих критеріїв. Встановлено істотну залежність цих критеріїв від умов проведення вимірювань, які в даний час не нормуються. Побудовано математичні моделі характеристик водостійкості, за допомогою яких проаналізовано вплив вмісту компонентів на стійкість штукатурного складу до дії води. Для додаткового підвищення водостійкості суміші обрано гідрофобізуючу добавку за показниками змочування поверхні та водопоглинання. Подальші дослідження спрямовані на оптимізацію ремонтного складу з використанням пластифікуючих, гідрофобізуючих і адгезійних добавок.

Ключові слова: вапняк-черепашник; гіпсові композити; гіпсоцементно-пуцоланове в'язуче; водостійкість; коефіцієнт розм'якшення; індекс водостійкості; математичне моделювання; гідрофобізація.

Постановка проблеми. Руйнування будівель з вапняку-черепашника в Одеському регіоні частішає і стає соціально-економічною проблемою, яка з часом загострюється [1-3]. Поряд з іншими факторами, найважливішою, на

наш погляд, причиною ослаблення та подальшої руйнації несучих конструкцій старих будівель є зволоження черепашника, що призводить до зниження несучої здатності конструкції аж до її повної втрати.

Деякі будівлі мають пошкоджене штукатурне оздоблення, у інших штукатурний шар відсутній взагалі, тому що не передбачений проєктом. Незахищені конструкції надмірно звожуються, внаслідок чого починається їх руйнація. Цей процес прискорюється в холодну пору року при заморожуванні води в порах і тріщинах матеріалу.

Ремонт пошкоджених конструкцій з черепашнику цементними складами інтенсифікує руйнівні процеси, механізми яких визначаються властивостями взаємодіючих матеріалів. По-перше, цементна суміш при схоплюванні схильна до усадки і, за рахунок більшої міцності, в процесі твердіння створює напруження в поверхневих шарах ракушняка. По-друге, паропроникність черепашника значно перевищує паропроникність цементного шару, який є перешкодою на шляху виходу пари з конструкції [4].

Використання вапняно-піщаних сумішей для ремонтних робіт на фасадах будівель є проблемним через їх тривале твердіння; потребує захисту від атмосферних опадів, замерзання, пересушування нагрівання вище 25°C та інтенсивного наскрізного провітрювання [5].

У зв'язку з вищевикладеним, актуальним завданням є розробка сумісних з вапняком ремонтних складів вітчизняного виробництва, спроможних конкурувати з зарубіжними, значно дорожчими аналогами. Ремонтно-захисна композиція, що розробляється, має бути хімічно сумісною з матеріалом вапняку – черепашника, та мати додаткові особливі властивості: узгоджену с основним матеріалом міцність і паропроникність, підвищену водостійкість, покращену адгезію, прискорене твердіння, відносно невелику вартість.

Виходячи з перерахованих вище вимог, основним в'язучим компонентом суміші прийнято будівельний гіпс Г5. Прийняття гіпсу в якості основи ремонтного складу обґрунтовується наступним: гіпс за своїм хімічним складом є сумісним до вапняку; він прискорює процес твердіння і набору міцності штукатурного шару; гіпс нівелює усадку цементного компоненту та запобігає появі тріщин на поверхні штукатурки і порушенню монолітності шару; він є відносно дешевою в'язучою речовиною, відповідає вимогам екологічної безпеки та економії ресурсів і енергії під час його виробництва.

Але суттєвим недоліком матеріалів на чистих гіпсових в'язучих є їх низька водостійкість, у зв'язку з чим їх використовують тільки всередині будівель.

Метою публікації є аналіз шляхів підвищення водостійкості штукатурних сумішей на основі гіпсових в'язучих, призначених для ремонту зовнішніх стін будівель з вапняку-черепашника.

Аналіз досліджень та публікацій по темі дослідження. Причини низької водостійкості гіпсу розглядаються у багатьох роботах [6-8], основними вважаються наступні: висока розчинність дигідрату сульфату кальцію; розклинювальна дія молекул води при проникненні в міжкристалічні порожнини (ефект Ребіндера); висока сполучна пористість затверділого гіпсового каменю.

За останні десятиліття виявлені найбільш ефективні шляхи підвищення водостійкості матеріалів на основі гіпсового в'язучого [7-13]: 1) створення сумішей зі зниженою розчинністю на основі гіпсу та цементу з добавкою компонентів з пуцоланічною активністю (золи і шлаки, трепел, опока) для запобігання утворенню етtringіту; 2) застосування гідрофобізуючих добавок, 3) застосування комплексних добавок, що включають у свій склад мелені наповнювачі (наприклад – керамзитовий пил), вапно, пластифікатор.

На першому етапі розробки ремонтної композиції реалізовано варіант з використанням гіпсоцементно-пуцоланового в'язучого (ГЦПВ) – гіпсу в поєднанні з цементом (мелений клінкер) і золою як пуцолановою добавкою. Для ймовірного підвищення пластичності та водостійкості до складу вихідної суміші вводили гашене вапно. В планованому 3-х факторному експерименті варіювались масовий вміст компонентів у відсотках від фіксованої кількості гіпсу: цементу – x_1 (40-60%), вапна - x_2 (40-60%) і золи – x_3 (20-60%). Кількість води підбиралась за нормальною густиною суміші. Було виготовлено 15 x 3 стандартних балочок розміром 40x40x160 мм.

Водостійкість будівельних матеріалів та виробів зазвичай оцінюється коефіцієнтом розм'якшення K_p – це відношення міцності матеріалу, насиченого водою, до його міцності в сухому стані – $K_p = R_{вол}/R_{сух}$. При значенні коефіцієнта розм'якшення більше 0,8 матеріал вважається водостійким. Коефіцієнт розм'якшення будівельного гіпсу коливається в межах від 0,3 до 0,45 [9]. Використання високоміцного гіпсу у поєднанні з цементом, комплексними мінеральними та хімічними добавками може підвищити коефіцієнт розм'якшення до 0,7 - 0,8 [10], тобто такий матеріал вже можна використовувати для зовнішніх робіт. Але з точки зору економічності суміші бажаним є використання звичайного будівельного гіпсу. Тим більше, що штукатурка не є фінішним шаром, а повинна мати захисно-декоративне покриття.

Визначення коефіцієнта розм'якшення гіпсовмісних матеріалів ускладнюється відсутністю українських нормативних вимог до умов проведення вимірювань. Навіть для суто гіпсових в'язучих немає таких

вказівок у відповідному ДСТУ [14]. Більше за того, немає нормативних вимог до умов визначення коефіцієнта розм'якшення комбінованих в'язучих на основі гіпсу в поєднанні з цементом, вапном або полімерами. Насамперед маються на увазі тривалість витримки зразків у сухому стані та час замочування зразків. Немає унормованих вимог щодо зволоження зразків – чи треба їх висушувати перед зволоженням, або можна їх зволожувати безпосередньо з рівноважно-вологісного стану. Наприклад, у скасованому на даний момент ГОСТ 23789-79 вимагалось зразки висушувати в сушильній шафі протягом 48 годин при температурі $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ і стільки ж часу насичувати їх водою. У прийнятому на його заміну ГОСТ 23789-2018 (EN 13279-2:2004, NEQ) пункт «Визначення водостійкості гіпсового каменю» вилучено взагалі. Сам термін «у сухому стані» трактується по-різному. У роботі [8] при розрахунку K_r як міцність у сухому стані прийнята «границя міцності зразків при стисканні (після 28 діб вологого зберігання)», час насичення зразків водою не вказано. Можна припустити, що, якби в розрахунках була прийнята міцність висушених зразків, коефіцієнт розм'якшення був би значно нижчим. В інших роботах також не зазначаються умови визначення коефіцієнта розм'якшення.

Основна частина. В даній роботі розглядаються питання, пов'язані з підвищенням стійкості штукатурної суміші, що розробляється, до дії води. Треба розуміти, що зволоження штукатурного шару відбувається не тільки за рахунок атмосферної вологи, але і при проходженні пари скрізь конструкцію з можливою конденсацією в поверхневому шарі.

Коефіцієнт розм'якшення, як критерій оцінки, неоднозначно відображає фактичну водостійкість матеріалу. Його величина залежить від співвідношення міцностей у водонасиченому та сухому стані: $K_r = R_{\text{вол}}/R_{\text{сух}}$; в деяких випадках матеріали з меншою міцністю можуть мати більший K_r , ніж матеріали з більшою міцністю [15, 16]. В результаті такої формальної оцінки до водостійких матеріалів можуть бути віднесені матеріали з неприпустимо низькими значеннями міцності, і навпаки, матеріали з високими значеннями міцності (особливо у вологому стані) будуть необґрунтовано обмежені у застосуванні.

Для прийняття більш обґрунтованого рішення про можливість застосування гіпсовмісного матеріалу в умовах підвищеної вологості, зокрема для оштукатурювання зовнішніх стін, необхідний коректніший критерій оцінки водостійкості. Таким критерієм, на наш погляд, може бути індекс водостійкості, в якому «посилена» роль міцності матеріалу у водонасиченому стані, що збільшує роль цієї характеристики, як більш значущої для проектувальників, $I_v = R^2_{\text{вол}}/R_{\text{сух}}$. Переваги та доцільність використання цього критерію для об'єктивної оцінки водостійкості гіпсових композитів викладені у [15]. У даній роботі використані обидва наведені вище критерії.

Водостійкість визначалась через 2 години замочування зразків та через 48 годин замочування, враховуючи наявність у суміші повільно твердіючих компонентів - цементу та вапна. Зниження міцності в останньому випадку, порівняно з двогодинним зволоженням, склало в середньому 30 відсотків. Втім мінімальна міцність зразків через 48 годин замочування була в межах 2,1÷2,5 МПа, що перевищує міцність більшості видів вапняку-черепашника навіть у природному стані вологості [17]; максимальна міцність вологих зразків досягає майже 5 МПа. За міцність у сухому стані прийнято міцність висушених зразків після 7 та 28 діб твердіння.

Значення міцності дослідних зразків у вологому стані, їх коефіцієнтів розм'якшення та індексів водостійкості наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення міцності у вологому стані $R_{вол}$, коефіцієнту розм'якшення K_p та індексу водостійкості I_v зразків при різних термінах їх замочування (г- годин) та твердіння (д - діб)

| № зразків | $R_{вол}$, МПа при замочуван. | | $K_p = R_{вол}/R_{сух}$ за умов | | | | $I_v = R_{вол}^2/R_{сух}$ за умов | | | |
|-----------|--------------------------------|------|---------------------------------|-------|-------|--------|-----------------------------------|-------|-------|--------|
| | г | 8г | г/7д | г/28д | 8г/7д | 8г/28д | г/7д | г/28д | 8г/7д | 8г/28д |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 3,36 | 2,72 | 0,85 | 0,58 | 0,69 | 0,47 | 2,85 | 1,96 | 1,87 | 1,28 |
| 2 | 4,00 | 3,35 | 0,63 | 0,45 | 0,56 | 0,40 | 2,50 | 1,79 | 1,75 | 1,25 |
| 3 | 5,90 | 4,96 | 0,79 | 0,59 | 0,67 | 0,50 | 4,52 | 3,39 | 3,31 | 2,48 |
| 4 | 3,20 | 2,40 | 0,73 | 0,54 | 0,55 | 0,41 | 2,33 | 1,73 | 1,31 | 0,97 |
| 5 | 4,64 | 4,00 | 0,66 | 0,55 | 0,57 | 0,47 | 3,06 | 2,54 | 2,27 | 1,89 |
| 6 | 3,20 | 2,40 | 0,56 | 0,39 | 0,42 | 0,29 | 1,80 | 1,25 | 1,01 | 0,71 |
| 7 | 3,36 | 2,56 | 0,63 | 0,58 | 0,48 | 0,44 | 2,12 | 1,93 | 1,23 | 1,12 |
| 8 | 3,84 | 2,24 | 0,55 | 0,53 | 0,32 | 0,31 | 2,09 | 2,05 | 0,71 | 0,70 |
| 9 | 3,36 | 2,56 | 0,58 | 0,45 | 0,44 | 0,34 | 1,96 | 1,50 | 1,14 | 0,87 |
| 10 | 3,52 | 2,40 | 0,78 | 0,63 | 0,53 | 0,43 | 2,74 | 2,21 | 1,27 | 1,03 |
| 11 | 2,88 | 2,08 | 0,62 | 0,55 | 0,45 | 0,39 | 1,79 | 1,57 | 0,93 | 0,82 |
| 12 | 4,00 | 2,88 | 0,64 | 0,57 | 0,46 | 0,41 | 2,56 | 2,27 | 1,33 | 1,18 |
| 13 | 3,52 | 2,88 | 0,64 | 0,44 | 0,52 | 0,36 | 2,24 | 1,55 | 1,50 | 1,04 |
| 14 | 3,84 | 3,28 | 0,64 | 0,51 | 0,61 | 0,49 | 2,46 | 1,96 | 1,79 | 1,43 |
| 15 | 4,06 | 2,56 | 0,79 | 0,63 | 0,50 | 0,40 | 3,22 | 2,58 | 1,28 | 1,02 |

Аналіз даних у таблиці дозволяє зробити такі висновки:

1. Коефіцієнт розм'якшення (так само, як і індекс водостійкості) істотно залежить від умов проведення випробувань, особливо для складів на змішаних в'язучих з різними термінами твердіння. Загальна тенденція для обох критеріїв – вони зменшуються з збільшенням термінів твердіння та тривалості замочування, проте для K_r спостерігаються відхилення від цієї закономірності, а для I_v зменшення - монотонне.

2. Коефіцієнт розм'якшення не дозволяє коректно порівнювати склади на змішаних в'язучих за водостійкістю: порівнюючи показники зразків №1 і №5, бачимо, що у 5-го зразка міцність вища за обох термінів замочування. У той самий час його K_r менше чи дорівнює K_r 1-го зразка. Якщо судити тільки по K_r , то зразок №1 більш водостійкий порівняно зі зразком №5, хоча міцність у вологому стані «п'ятірки» майже в півтора рази вища за перший зразок.

І навпаки, склади, з порівнянною міцністю у водонасиченому стані, але різною міцністю у сухому стані, мають суттєво різні коефіцієнти розм'якшення, хоча саме міцність у вологому стані визначає можливості застосування матеріалу для фасадних робіт; такий самий некоректний висновок про водостійкість матеріалу можна зробити, порівнюючи K_r 3-го складу з іншими зразками експериментальної серії.

Індекс I_v , як видно з таблиці, адекватніше відбиває водостійкість матеріалу, та дозволяє більш коректно порівнювати склади на змішаних в'язучих за водостійкістю.

3. Коефіцієнти розм'якшення, визначені як відношення міцності зразків після 2-годинної витримки у воді до міцності сухих у 7-добовому віці (стовпчик 4 таблиці 1), максимальні для всіх зразків; значення K_r деяких зразків наближаються до 0,8, що дозволяє розглядати ці склади як водостійкі навіть без застосування гідрофобізуючих добавок. У той же час коефіцієнти розм'якшення цих же гіпсоцементно-пуцоланових складів, визначені за інших умов, не дозволяють визнати їх водостійкими, що суперечить здоровому глузду. Є нагальна потреба в стандартизації умов проведення випробувань гіпсовмісних композицій на стійкість до дії води.

Для міцності у вологому стані $R_{вол}$ і критеріїв K_r та I_v , які визначені за умови твердіння зразків 7 і 28 діб та замочування 2 і 48 годин, розраховані математичні моделі за програмою Comrex (розроблена на кафедрі ПАТБМ ОДАБА [18]), завдяки яким вивчено вплив вмісту компонентів – цементу (фактор x_1), вапна (x_2) і золи (x_3) на водостійкість суміші. Як приклад, значимі коефіцієнти деяких моделей $R_{вол}$, K_r та I_v за різних термінів твердіння та зволоження наведено в таблиці 2, а відповідні зображення ізоповіток – на рис. 1 і 2.

Проведений аналіз моделей показав, що коефіцієнт розм'якшення неоднозначно оцінює роль компонентів суміші, наприклад вапна, в забезпеченні водостійкості матеріалу. У моделі 2-го годинного зволоження K_p 2г/7д (табл. 2) відсутній лінійний коефіцієнт b_2 при x_2 (вапно), враховуються тільки лінійні ефекти впливу цементу і золи, а також незначний вплив взаємодії вапна і золи.

Водночас роль золи явно перебільшується (коефіцієнт b_3 - найвищий), хоча відомо, що водостійкі властивості матеріалу надає саме цемент. Найбільше розрахункове значення K_p 2г/7д має місце при максимальному рівні (в досліджуваному факторному просторі) вмісту вапна (рис. 1а).

В моделі K_p 48г/7д (табл. 2) з'являється незначний позитивний лінійний ефект впливу вапна (b_2) і негативні ефекти – квадратичний (b_{22}) і взаємодії вапна з цементом (b_{12}). Виходячи з цієї моделі, найбільшій рівень водостійкості забезпечується при середньому рівні вмісту вапна (рис. 1б). У той же час моделі міцності на стиск вологих зразків $R_{вол}$ після замочування впродовж 2 та 48 годин (котрі можна умовно вважати контрольними) показують, що, незалежно від терміну замочування, найбільш водостійкими є зразки, до складу яких входить мінімальна кількість вапна (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти моделей $R_{вол}$, K_p і I_v після 7 діб (д) твердіння і 2 та 48 годин (г) зволоження

| Умови вимірювань 2г/7д | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| $R_{вол}$ | K_p | I_v |
| 1. $b_0 = 3.564$ | 1. $b_0 = 0.673$ | 1. $b_0 = 2.549$ |
| 2. $b_1 = 0.414$ | 2. $b_1 = 0.026$ | 2. $b_1 = 0.381$ |
| 3. $b_2 = -0.510$ | 3. $b_{23} = 0.022$ | 3. $b_2 = -0.308$ |
| 4. $b_{23} = -0.178$ | 4. $b_3 = 0.060$ | 4. $b_3 = 0.215$ |
| 5. $b_{12} = -0.298$ | | 5. $b_{13} = 0.156$ |
| 6. $b_{13} = 0.138$ | | 6. $b_{12} = -0.269$ |
| 7. $b_{33} = 0.322$ | | |
| Умови вимірювань 48г/7д | | |
| $R_{вол}$ | K_p | I_v |
| 1. $b_0 = 2.496$ | 1. $b_0 = 0.489$ | 1. $b_0 = 1.190$ |
| 2. $b_1 = 0.559$ | 2. $b_1 = 0.063$ | 2. $b_1 = 0.481$ |
| 3. $b_2 = -0.369$ | 3. $b_2 = 0.017$ | 3. $b_2 = -0.198$ |
| 4. $b_{33} = 0.583$ | 4. $b_3 = 0.043$ | 4. $b_3 = 0.169$ |
| 5. $b_{23} = -0.239$ | 5. $b_{12} = -0.020$ | 5. $b_{12} = -0.293$ |
| 6. $b_{12} = -0.361$ | 6. $b_{22} = -0.034$ | 6. $b_{23} = -0.143$ |
| | 7. $b_{33} = 0.076$ | 7. $b_{33} = 0.485$ |

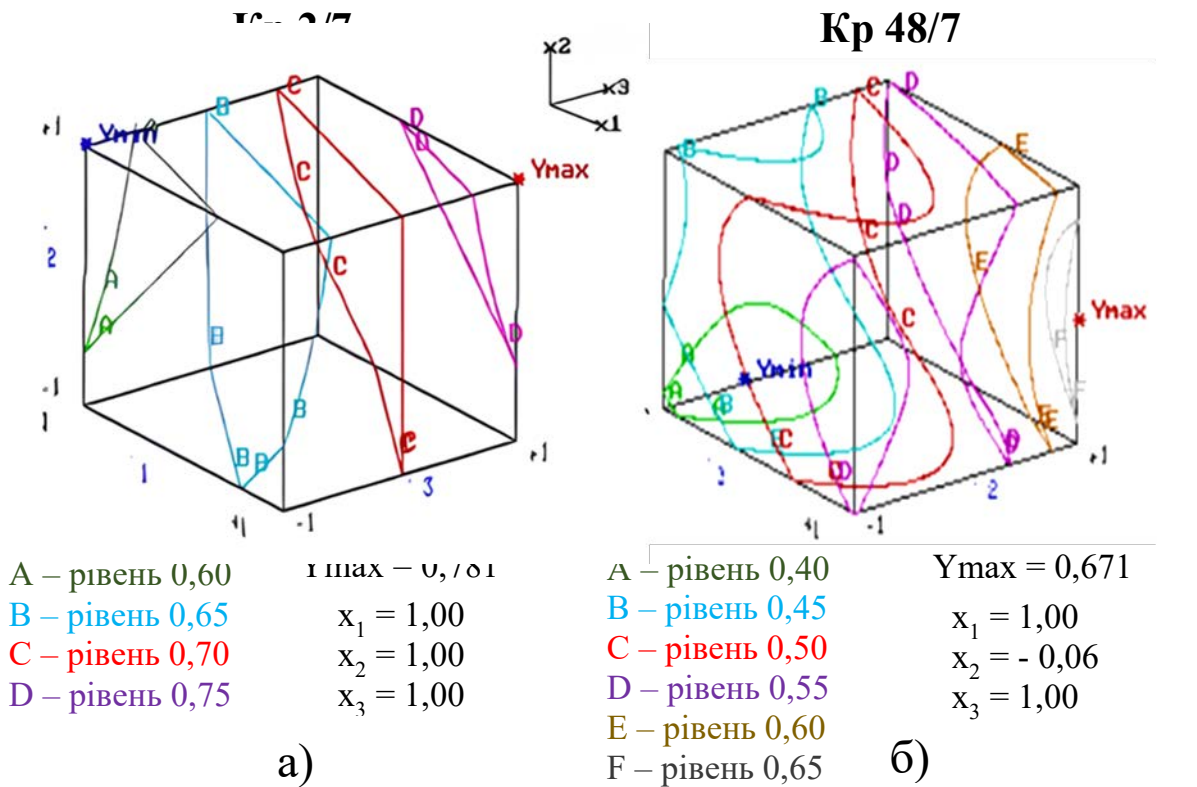


Рис. 1. Ізоповерхні коефіцієнта розм'якшення Кр після твердіння зразків 7 діб та зволоження: а) - 2 годин, б) - 48 годин

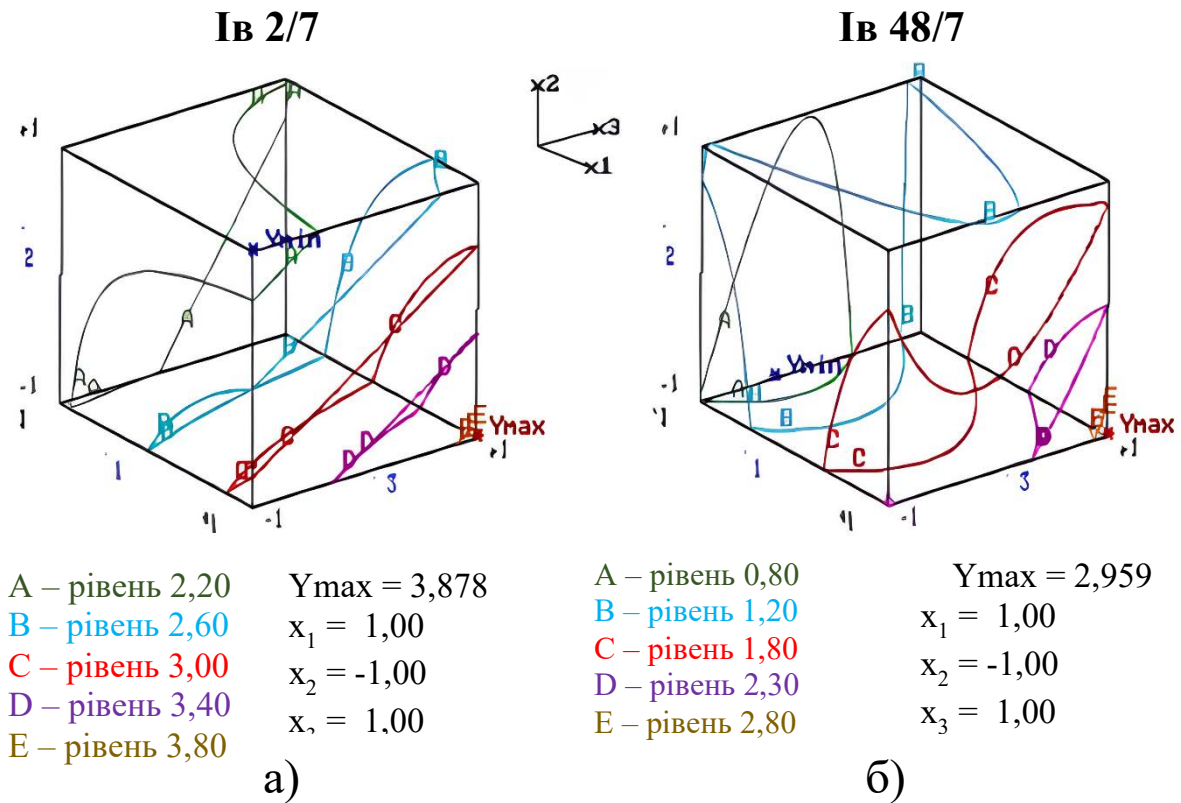


Рис. 2. Ізоповерхні індексу водостійкості Ів після твердіння зразків 7 діб та зволоження: а) - 2 годин, б) - 48 годин

Моделі запропонованого нами критерію водостійкості I_v за знаком та величиною коефіцієнтів практично співпадають з моделями R_{vol} при обох термінах замочування (табл. 2), що є підтвердженням його коректності.

Аналізуючи моделі I_v та їх графічні відображення (рис. 2) можна зробити наступні висновки:

- найбільший позитивний вплив на водостійкість ремонтної композиції на ГЦП в'язучому передбачувано чинить вміст цементу;
- наступний за значимістю компонент суміші - зола, з підвищенням вмісту якої (в досліджуваному інтервалі) водостійкість зростає;
- підвищення вмісту вапна в досліджуваному інтервалі знижує стійкість штукатурної композиції до води.

Таким чином припущення щодо корисності додавання вапна для підвищення водостійкості гіпсоцементної суміші не виправдалося. Враховуючи також, що вапно нівелює дію пуцоланової добавки, а введення кожного додаткового компонента до того ж ускладнює технологію виготовлення матеріалу, прийнято рішення про виключення вапна зі складу експериментальної суміші.

Водостійкість ремонтного складу, що розробляється, може бути додатково підвищена за рахунок об'ємної (як найбільш доцільної) гідрофобізації при виготовленні суміші.

Для досліджень з визначення порівняльної ефективності гідрофобізуючих добавок обрано шість гідрофобізаторів різної хімічної природи: ГКЖ-11К є водним розчином метилсілконату натрію; BRB «Aquisil WO» - сілан-силоксанова емульсія; BRB «SR 349» - водний розчин сілконата калію; «Coral Master Hidro» - комплекс полімерів; MC Vauchemie «Centrament НМ 20» - універсальний пластифікатор-модифікатор для бетонів, відноситься до групи карбоксилатів; КО-А – кремній-органічна рідина. Дослідження проводилися на гіпсовому в'язучому марки Г-5-Б-II при $V/G = 0,56$. Добавки застосовувалися шляхом об'ємної гідрофобізації у кількості 1% від маси в'язучого [18].

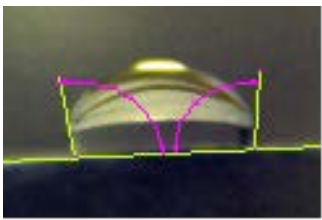
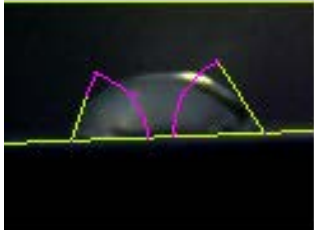
В якості критеріїв ефективності гідрофобізуючої добавки прийняті такі показники: водопоглинання (за масою) W_m , крайовий кут змочування Θ та коефіцієнт розм'якшення K_r (оскільки використовується однокомпонентне гіпсове в'язуче) [19, 20]. Деякі результати наведено в таблиці 3.

Найбільш ефективним з розглянутих гідрофобізаторів виявився ГКЖ-11К. При застосуванні гідрофобізатора ГКЖ-11К водопоглинання гіпсового каменю зменшується на 72% по відношенню до контрольного складу (без добавок). Введення гідрофобізуючої добавки дозволяє підвищити коефіцієнт розм'якшення з 0,4 (контрольний склад) до 0,51. Крайовий кут змочування між краплею води та поверхнею гіпсу, гідрофобізованого добавкою ГКЖ-11К, –

максимальний, порівняно з іншими добавками, і дорівнює 96° , що свідчить про незмочування поверхні. Застосування добавки ГКЖ-11К вітчизняного виробництва для гідрофобізації штукатурної суміші на основі ГЦПВ дозволило отримати матеріал з K_p , що перевищує 0,8.

Таблиця 3

Порівняльна ефективність деяких гідрофобізуючих добавок

| Назва добавки | $W_m, \%$ | Коефіцієнт розм'якшення, K_p | Крайовий кут змочування, Θ° |
|--------------------------------|-----------|--------------------------------|---|
| Контрольний зразок без добавки | 21,5 | 0,4 | Не визначається |
| ГКЖ-11К | 6,1 | 0,51 |  96° |
| МС-Vauchemie | 17,9 | 0,41 |  55° |

Подальші дослідження спрямовані на встановлення оптимального вмісту гідрофобізатора при його введенні у суміш сумісно з пластифікуючою і адгезійною добавками.

Висновки та рекомендації.

1. Запропонована штукатурна суміш з підвищеною водостійкістю на основі зологіпсоцементного в'язучого для ремонту будівель з вапняку-ракушняка.

2. За результатами досліджень складів з різним вмістом компонентів побудовані математичні моделі характеристик водостійкості K_p та I_v і встановлено вміст компонентів, при якому забезпечується максимальна водостійкість ремонтного складу. Коефіцієнт розм'якшення K_p є недостатньо адекватним критерієм оцінки водостійкості. Індекс водостійкості I_v дозволяє більш коректно порівнювати подібні за якісним складом матеріали. Обидва критерії істотно залежать від умов проведення вимірювань.

3. Для підвищення стійкості зологіпсоцементної штукатурної суміші до дії

води доцільна об'ємна гідрофобізація. Досліджена ефективність ряду гідрофобізаторів вітчизняного та іноземного виробництва. Найкращою за рядом ознак серед них виявилась добавка українського виробництва ГКЖ-11К.

4. Подальші дослідження мають на меті удосконалення ремонтного складу за рахунок введення у суміш гідрофобізуючої, пластифікуючої та адгезійної добавок при їх оптимальному співвідношенні.

Список літератури

1. Обвал 4-поверхівки в Одесі...URL: <https://tsn.ua/ukrayina/obval-4-roverhivki-v-odesi-vzhe-p-yatyy-za-4-misyaci-chomu-ce-vidbuvayetsya-i-na-schochekati-lyudyam-1563342.html> (дата звернення: 12.03.2024).
2. В Одессе вторая за два дня авария...URL: <https://kr.ua/incidents/687698-v-odesse-vtoraia-za-dva-dnia-avaryia-v-ystorycheskoi-chasty-obrushylos-nezhyloezdanye> (дата звернення: 12.03.2024).
3. Na grani razrusheniya:...URL: <https://usionline.com/na-grani-razrusheniya-v-odesse-poschitali-avarijnye-doma/> (дата звернення: 12.03.2024).
4. Керш В.Я., Левицький Д.В., Тихонюк С.А. Repair mixture for limestone-shell buildings: зб. тез V Міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми енергоресурсозбереження та екології», ОДАБА, Одеса, 13-14 грудня 2023 р., с. 76-78.
5. Защитно-отделочная известковая штукатурка Тайфун Мастер. URL: <https://www.taifun.by/upload/iblock/647/6475d58a1a4b590d26f7ebde8680822e.pdf> (дата звернення: 12.03.2024).
6. Ферронская А.В. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): Справочник. М: Изд.-во АСВ, 2004. 484 с.
7. Коровяков В.Ф. Гипсовые вяжущие и их применение в строительстве. *Рос. хим. ж.*, 2003, т. XLVII, № 4. С. 18–25.
8. Кондращенко О.В. Гіпсові будівельні матеріали підвищеної міцності і водостійкості (фізико-хімічні та енергетичні основи): автореф. дис. ...д-ра техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 40 с
9. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986. 464 с.
10. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия – М.: Стройиздат, 1971. 318 с.
11. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 544 с.
12. Єфіменко А.С. Підвищення водостійкості гіпсових матеріалів поліфракційними мінеральними добавками: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харків: УкрДУЗТ, 2021. 167 с.

13. Новосад П. В., Саницький М. А., Позняк О. Р. Підвищення водостійкості гіпсових в'язучих. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Серія: Теорія і практика будівництва. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. № 888. С. 111–116.
14. ДСТУ Б В.2.7-82:2010. Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови. [Чинний від 2010-08-18]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. Київ, 2010. 29 с.
15. Керш В.Я., Фоц А.В., Колесніков А.В. Описание водостойкости гипсосодержащих композиций с помощью комбинированного критерия. Зб. праць УкрДУЗТ. Харків, 2017. Вип. №168. С. 133-139.
16. Фоц А.В., Керш В.Я. Оценка качества гидрофобизирующих добавок методами поверхностного натяжения. *Вісник ОДАБА*. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2016. Вип. № 62. С.185-188.
17. Новский А.В., Новский В.А., Тугаенко Ю.Ф. Известняк-ракушечник. Исследование и использование в качестве основания фундаментов. Одесса: Астропринт, 2014, с.32.
18. Вознесенский В.А. Ляшенко Т.В., Иванов Я.П., Николов И.И. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов. Київ: Будивельник, 1989. 240 с.
19. Фоц А.В. Керш В.Я., Колесніков А.В. Оцінка якості гідрофобізуючих добавок та їх вплив на водостійкість гіпсу. Зб. праць УкрДУЗТ. Харків, 2015. Вип. №157. С. 49-53.
20. Левицький Д.В., Загинайло И.В. Установка для измерения краевого угла смачивания образцов стройматериалов. Зб. тез доп. III всеукр. наук.-практ. конф. здобув. вищої освіти та молодих вчених «Фізичні процеси в енергетиці, екології та будівництві». Одеса: ОДАБА, 2020. С. 58 – 62.

PhD in technical science, Professor **Volodymyr Kersh**,
PhD student **Dmytro Levytskyi**, PhD student **Sergey Tihoniuk**,
PhD in technical science, associate Professor **Aljona Foshch**,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

INCREASING THE WATER RESISTANCE OF THE PLASTER MIXTURE BASED ON GYPSUM-CONTAINING BINDER

The article considers the prospects of using gypsum-based composite materials for repairing damaged walls of limestone-shell rock buildings. Repairing damaged shell rock structures with cement compositions intensifies destructive processes; the use of lime-sand mixtures for repair work on building facades is problematic due to their prolonged hardening. The article substantiates the use of gypsum as the basis of

the repair composition. The use of gypsum composites for exterior works requires a significant increase in their water resistance. A plaster mixture based on an ash-cement binder with an addition of lime is proposed; a series of samples with different component contents were made in the planned experiment. Their water resistance was studied using two criteria: the conventional softening coefficient (K_p) and the new one - the water resistance index (I_w); a comparison of these criteria was performed. The significant dependence of these criteria on the measurement conditions, which are not currently standardized, is established. Mathematical models of water resistance characteristics have been built, with the help of which the influence of the content of components on the resistance of the plaster composition to water has been analyzed. To further improve the water resistance of the mixture, a hydrophobizing additive was selected in terms of surface wetting and water absorption. Further research is aimed at optimizing the repair composition using plasticizing, hydrophobizing, and adhesive additives.

Keywords: limestone-shell rock; gypsum composites; gypsum-cement-pozzolanic binder; water resistance; softening coefficient; water resistance index; mathematical modeling; hydrophobization.

REFERENCES

1. Obval 4-poverkhivky v Odesi...URL: <https://tsn.ua/ukrayina/obval-4-poverkhivki-v-odesi-vzhe-p-yatyy-za-4-misyaci-chomu-ce-vidbuvayetsya-i-na-schekati-lyudyam-1563342.html> (data zvernennya: 12.03.2024). {in Ukrainian}
2. V Odesse vtoraia za dva dnia avaryia...URL: <https://kp.ua/incidents/687698-v-odesse-vtoraia-za-dva-dnia-avaryia-v-ystorycheskoi-chasty-obrushylos-nezhyloezdanye> (data zvernennya: 12.03.2024). {in Russian}
3. Na grani razrusheniya:... URL: <https://usionline.com/na-grani-razrusheniya-v-odesse-poschitali-avarijnnye-doma/> (data zvernennya: 12.03.2024). {in Russian}
4. Kersh V.Ia., Levytskyj D.V., Tihoniuk S.A. Repair mixture for limestone-shell buildings: zb. tez V Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. «Aktualni problemy enerhoresurso-zberezhennia ta ekolohii» ODABA, Odesa, 13-14 hrudnia 2023 r., s. 76-78. {in English}
5. Zashchytno-otdelochnaia yzvestkovaia shtukaturka Taifun Master. URL: <https://www.taifun.by/upload/iblock/647/6475d58a1a4b590d26f7ebde8680822e.pdf> (data zvernennya: 12.03.2024). {in Russian}
6. Ferronskaya A.V. Hypsovie materyali i izdeliya (proyzvodstvo i pryomenenye): Spravochnyk. M: Yzd.-vo ASV, 2004. 484 s. {in Russian}
7. Korovyakov V.F. Hypsovie viazhushchiye i ykh pryomenenye v stroytelstve. Ros. khym. zh., 2003, t. XLVII, № 4. S. 18–25. {in Russian}
8. Kondrashchenko O.V. Hipsovi budivelni materialy pidvyshchenoi

mitsnosti i vodostiikosti (fizyko- khimichni ta enerhetychni osnovy): avtoref. dys. ...d-ra tekhn. nauk: 05.23.05. Kharkiv: UkrDAZT, 2005. 40 s. {in Ukrainian}

9. Volzhenskyi A.V. Myneralnie viazhushchye veshchestva. M.: Stroiyzdat, 1986. 464 s. {in Russian}

10. Volzhenskyi A.V., Stambulko V.Y., Ferronskaya A.V. Hipsotsementno-putstsolanovye viazhushchye, betony i izdelyia – M.: Stroiyzdat, 1971. 318 s. {in Russian}

11. Dvorkyn L.Y., Dvorkyn O.L. Stroytelnye myneralnye viazhushchye materyali. M.: Ynfra-Ynzheneryia, 2011. 544 s. {in Russian}

12. Yefimenko A.S. Pidvyshchennia vodostiikosti hipsovykh materialiv polifraktsiinymy mineralnymy dobavkamy: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Kharkiv: UkrDUZT, 2021. 167 s. {in Ukrainian}

13. Novosad P.V., Sanytskyi M.A., Pozniak O.R. Pidvyshchennia vodostiikosti hipsovykh viazhuchykh. Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”. Serii: Teoriya i praktyka budivnytstva. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2018. № 888. S. 111–116. {in Ukrainian}

14. DSTU B V.2.7-82:2010. Budivelni materialy. V'iazhuchi hipsovi. Tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 2010-08-18]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010. Kyiv, 2010. 29 s. {in Ukrainian}

15. Kersh V.Ia., Foshch A.V., Kolesnikov A.V. Opysanye vodostoikosty hypsosoderzhashchykh kompozytsyi s pomoshchiu kombynyrovannoho kryteriya. Zb. prats UkrDUZT. Kharkiv, 2017. Vyp. №168. S. 133-139. {in Russian}

16. Foshch A.V., Kersh V.Ia. Otsenka kachestva hydrofobyziruiushchykh dobavok metodamy poverkhnostnoho natiazheniya. Visnyk ODABA. Odesa: Zovnishreklamservis, 2016. Vyp. № 62. S.185-188. {in Russian}

17. Novskyi A.V., Novskyi V.A., Tuhaenko Yu.F. Yzvestniak-rakushechnyk. Yssledovanye y yspolzovanye v kachestve osnovanyia fundamentov. Odessa: Astroprint, 2014, s.32. {in Russian}

18. Voznesenskyi V.A. Liashenko T.V., Yvanov Ya.P., Nykolov Y.Y. ЭVM y optymyzatsiya kompozytsyonnykh materyalov. Kyiv: Budyvelnyk, 1989. 240 s. {in Russian}

19. Foshch A.V. Kersh V.Ia., Kolesnikov A.V. Otsinka yakosti hidrofobizuiuchykh dobavok ta yikh vplyv na vodostiikist hipsu. Zb. prats UkrDUZT. Kharkiv, 2015. Vyp. №157. S. 49-53. {in Ukrainian}

20. Levytskyi D.V., Zagynaylo Y.V. Ustanovka dlia yzmereniy kraevoho uhla smachyvanyia obraztsov stroimateryalov. Zb. tez dop. III vseukr. nauk.-prakt. konf. zdobuv. vyshchoi osvity ta molodykh vchenykh «Fizychni protsesy v enerhetytsi, ekolohii ta budivnytstvi». Odesa: ODABA, 2020. S. 58 – 62. {in Russian}