

Володимир Яковлевич Керш¹, Сергій Анатолійович Тихонюк²

¹кандидат технічних наук, професор кафедри міського будівництва та господарства

Одеська державна академія будівництва та архітектури (Одеса, Україна)

E-mail: kersh@odaba.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6085-5260>

ResearcherID: [LGZ-1769-2024](https://orcid.org/0000-0001-6085-5260)

²здобувач ступеня доктора філософії, аспірант кафедри міського будівництва та господарства

Одеська державна академія будівництва та архітектури (Одеса, Україна)

E-mail: tihoniuk1984@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9444-3905>

ResearcherID: [LGZ-8666-2024](https://orcid.org/0009-0009-9444-3905)

ШТУКАТУРНИЙ СКЛАД ДЛЯ БУДІВЕЛЬ ІЗ ВАПНЯКУ-ЧЕРЕПАШНИКУ

У статті обґрунтована доцільність та на основі комплексних досліджень доведена можливість використання зологіпсоцементних сумішей для оштукатурювання стін будівель з вапняку-черепашника при ремонтно-реставраційних роботах. Показано, що водостійкість затверділої суміші є достатньою для її використання на фасадах будівель. Експериментально доведено, що основні властивості пропонованого ремонтно-реставраційного складу – міцність, паропроникність, адгезія, - узгоджені з властивостями черепашника. Подальші дослідження, спрямовані на покращення властивостей штукатурної суміші за рахунок введення комплексу хімічних добавок.

Ключові слова: вапняк-черепашник; зологіпсоцементна суміш; планований експеримент; водостійкість; міцність; паропроникність; адгезія

Рис.: 5. Табл.: 2. Бібл.: 17.

Постановка проблеми. Більшість історичних будівель Північного Причорномор'я складено з місцевого природного каменю вапняку-черепашника, який утворився з залишків раковин морських організмів. Екологічно чистий, недорогий будівельний матеріал має досить гарні технічні і експлуатаційні властивості – міцнісні, тепло- і шумозахисні [1]. Однак із часом ці будівлі можуть піддаватися руйнівним процесам, пов'язаним із впливом зовнішніх факторів, таких як вологість, заморозки, механічні пошкодження. Недоліком черепашника є суттєва втрата міцності при його зволоженні, що призводить до зниження несучої здатності конструкції аж до її повної втрати [2]. Руйнування будівель з вапняку в Одесі почастішали останнім часом [3], що, поряд з іншими причинами, є наслідком неграмотної та недбалої експлуатації.

Серед чинників, що призводять до замочування зовнішніх стін, можна виділити такі: відсутність або руйнування вимощення, неякісна гідроізоляція фундаментів або підвальних стін, пошкодження системи відведення води з покрівлі і, найважливіше, на наш погляд, – пошкодження або відсутність взагалі штукатурного шару зовнішніх поверхонь стін. Спроби ремонту стін з черепашника звичайними цементно-піщаними складами призводять до прискорення руйнування конструкцій внаслідок ряду причин: структурна несумісність матеріалів; більша, порівняно з основним шаром, міцність штукатурки; різні деформативні властивості й наприкінці менша паропроникність штукатурного шару, який є перешкодою на шляху виходу пари з конструкції [4].

Актуальність теми дослідження. Важливість збереження архітектурної спадщини історичної частини міста Одеси визнано на міжнародному рівні. У 2023 році Комітет всесвітньої спадщини ЮНЕСКО ухвалив рішення про включення історичного центру міста до Списку всесвітньої спадщини [5]. Це рішення визнає видатну універсальну цінність об'єкта та відповідальність усього людства за його захист, що надає йому доступ до посиленої технічної та фінансової міжнародної допомоги. Для відновлення будівель з природного каменю мають використовуватись спеціальні реставраційні склади, які мають різні властивості, залежно від потреби об'єкта.

Імпортні реставраційні склади позиціонуються як універсальні, призначені для кам'яних стін. Проте вапняк-черепашник за своїм хімічним складом, структурою та властивостями принципово відрізняється від, наприклад, глиняної або силікатної цегли; неузгодженість властивостей матеріалу основної стіни і штукатурного шару веде до відокремлення штукатурки від черепашника, розтріскування обох шарів і руйнації стіни.

Таким чином, розробка недорогих вітчизняних штукатурних матеріалів спеціального призначення для стін з черепашника, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наявну наукову інформацію було проаналізовано для визначення можливості та оцінки доцільності застосування гіпсовмісних сумішей для зовнішніх штукатурних робіт на фасадах будівель із вапняку-черепашнику. Важливими критеріями оцінки придатності штукатурної суміші для зазначеної цілі можна вважати такі:

- сумісність із матеріалом основної стіни;
- водостійкість;
- міцність;
- паропроникність;
- адгезія;
- деформативні характеристики.

Технічні вимоги до ремонтної композиції, що розробляється, можуть бути сформульовані наступним чином: матеріал має бути структурно сумісним з вапняком-черепашником та мати прискорене твердіння, підвищену водостійкість, хорошу адгезію, узгоджені з основним матеріалом міцність і паропроникність.

Сумісність штукатурної суміші з черепашником вкрай важлива для довговічності, міцності та надійності оздоблення. Розглянемо деякі аспекти цієї тези:

Міцність зчеплення: черепашник - це вапняний пористий матеріал, який має високу здатність вбирати вологу. Якщо штукатурка не буде структурно сумісна з черепашником, недостатнє зчеплення може призвести до появи тріщин або відшаровування штукатурки. При високій міцності штукатурного шару занадто міцне зчеплення веде до пошкодження матеріалу основного шару стіни.

Вологообмін: оскільки черепашник має пористу структуру і хорошу паропроникність, важливо, щоб штукатурка також мала здатність пропускати водяну пару. Це дасть змогу запобігти накопиченню вологи всередині стіни та утворенню цвілі або грибка. Несумісний за властивостями склад може блокувати природний процес вологообміну, що призведе до руйнування як штукатурки, так і черепашнику.

Деформативні характеристики: за неузгодженості деформативних властивостей штукатурки і матеріалу основного шару можливе пошкодження одного або іншого з взаємодіючих елементів стіни в результаті температурно-вологісних деформацій.

Однак, крім перерахованих вище чинників, під час проектування складу штукатурних сумішей для ремонту стін з черепашнику мають враховуватися і технологічні фактори, передусім - швидкість затвердіння і зміцнення суміші, а також товщина штукатурного шару, який наноситься за один прохід. Із поширених у будівельній практиці в'язучих найбільш сумісними за властивостями з вапняком-черепашником є вапно і гіпс. Вапнякові суміші, наприклад італійська суміш Маре-Antique MC [6], мають високу паропроникність і дозволяють стінам «дихати», що мінімізує утворення конденсату. Однак вапняно-піщані суміші наносяться тонкими шарами, твердіють тривалий час, під час твердіння потребують захисту від атмосферних опадів, замерзання, пересушування, тому їх використання для оздоблювальних робіт на фасадах будівель є проблемним.

З погляду відповідності перерахованим вище вимогам, для ремонту стін з черепашнику краще виглядає суміш на основі гіпсу. Сировина для виробництва гіпсу дуже поширена в земній корі, у тому числі в Україні. Основні переваги гіпсових матеріалів – високі міцність і твердість; час схоплювання можна регулювати в широкому діапазоні змішуванням гіпсу з допоміжними добавками; відносно низька теплопровідність; низька звукопровідність; висока паропроникність; хороша хімічна стійкість; вогнестійкість; невисока вартість [7].

Основним недоліком таких складів слід вважати низьку водостійкість, обумовлену відносно високою розчинністю гіпсу (приблизно 2,5 г на 1 л води). Уже невелике підвищення вологості гіпсових продуктів призводить до істотної втрати міцності. При тривалому впливі підвищеної вологості через порівняно велику розчинність і подальшу рекристалізацію відбувається його руйнування. Тому гіпсові продукти в чистому вигляді не застосовуються для зовнішніх робіт. Одним із найбільш ефективних шляхів підвищення водостійкості гіпсових матеріалів на основі гіпсового в'язучого [8-10] вважається створення сумішей зі зниженою розчинністю на основі гіпсу та цементу з добавкою компонентів з пуцоланічною активністю (ГЦП в'язучі). Цей варіант реалізовано в цій роботі.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз наявних вітчизняних і зарубіжних джерел дав змогу дійти висновку про відсутність наукової інформації щодо можливого застосування ГЦП в'язучих у штукатурних сумішах для стін із черепашнику, а також щодо досліджень комплексу різноманітних властивостей таких сумішей спеціального призначення, наприклад, міцності, водостійкості, паропровідності, здатності утворювати міцне зчеплення з матеріалом основного шару стіни, а також деформативних властивостей штукатурного шару.

Метою статті є оцінка можливості використання гіпсоцементно-пуцоланової суміші як в'язучої основи штукатурного складу для стін будівель з черепашнику за результатами комплексного дослідження властивостей суміші, для чого потрібно було вирішити ряд завдань:

- 1) на основі планованого експерименту виготовити дослідні зразки;
- 2) вивчити вплив компонентів суміші на міцнісні характеристики зразків;
- 3) оцінити вплив компонентів суміші на водостійкість зразків;
- 4) оцінити паропроникність черепашника й опитних зразків;
- 5) оцінити міцність зчеплення штукатурної суміші з різними поверхнями;
- 6) дослідити роль армування суміші фіброволокнами при вологих деформаціях.

Виклад основного матеріалу. Завданням цього етапу розробки водостійкої ремонтної композиції з місцевих матеріалів було встановити її базовий склад з використанням гіпсу Г5 в поєднанні з цементом (мелений клінкер) і золою ТЕС як пуцолановою добавкою, та вивчити вплив компонентів на властивості суміші. Для ймовірного підвищення пластичності та водостійкості до складу вихідної суміші вводили гашене вапно. У планованому 3-факторному експерименті В₃ [11] варіювались масовий вміст компонентів у відсотках від фіксованої кількості гіпсу. Основні чинники і рівні їх варіювання наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні чинники і рівні їх варіювання

Номер чинника -i	Чинники	Рівні варіювання		
		X _i = -1	X _i = 0	X _i = +1
1	Кількість цементу (Ц, масові частини на 100 ч. гіпсу)	40	50	60
2	Кількість вапна (В, масові частини на 100 ч. гіпсу)	40	50	60
3	Кількість (З, масові частини на 100 ч. гіпсу)	20	40	60

Джерело: розроблено авторами

Водотверде відношення, підібране за нормальною густиною суміші, дорівнює 0,6. Було виготовлено 90 стандартних балочок (15×6) розміром 40×40×160 мм.

Далі наведені результати досліджень властивостей опитних зразків.

Міцність. Оскільки суміш, крім гіпсу, містить цементно-вапняний компонент, який твердіє повільніше, вимірювання міцності проводили через 7 та 28 діб після схоплювання суміші. Графіки залежності міцності від густини у віці 7 і 28 днів показані на рис. 1, а і 1, б відповідно. Сині позначки відповідають міцності на вигин, червоні - міцності на стиск.

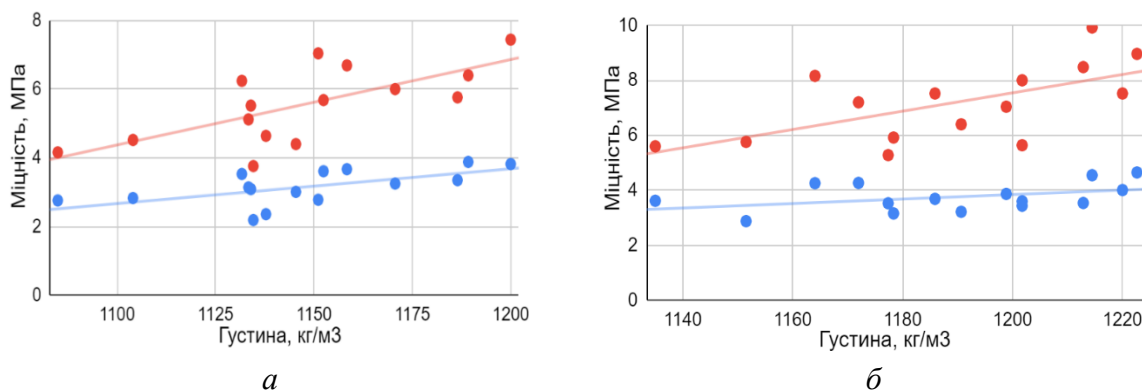


Рис. 1. Залежність міцності на вигин і стиск від густини:

а – у віці 7 днів; б – у віці 28 днів

Джерело: розроблено авторами.

Збільшення міцності через 28 днів порівняно з міцністю через 7 днів становить близько 30 %. Межа міцності деяких з виготовлених зразків на стиск досягає майже 10 МПа, а на розтяг - 4 МПа, навидь при використанні низькосортного гіпсу та без застосування пластифікуючих добавок і армуючих мікронаповнювачів. Така висока міцність штукатурної суміші в затверділому стані, в принципі, непотрібна, особливо для штукатурення черепашнику, але вона дає можливість додавати в суміш різні інертні наповнювачі, наприклад, мелені відходи видобування пиляного вапняку, що дозволить знизити витрату дорогого в'язучого і, відповідно, вартість ремонтної суміші при доведенні (зниженні) міцності до нормативних значень.

Водостійкість. Стійкість будівельних матеріалів та виробів до дії води зазвичай оцінюється коефіцієнтом розм'якшення K_p - це відношення міцності матеріалу, насиченого водою, до його міцності в сухому стані - $K_p = R_{\text{вол}}/R_{\text{сух}}$. 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. Визначення коефіцієнта розм'якшення гіпсовмісних матеріалів залежить від умов проведення вимірювань.

Коефіцієнт розм'якшення у принципі неоднозначно відображає фактичну водостійкість матеріалу. Його величина залежить від співвідношення міцностей у водонасиченому та сухому станах, і в деяких випадках матеріали з меншою міцністю можуть мати більший K_p , ніж матеріали з більшою міцністю. Більш коректним критерієм, на наш погляд, може бути індекс водостійкості I_v , у якому «посилена» роль міцності матеріалу у водонасиченому стані - $I_v = R_{\text{вол}}^2/R_{\text{сух}}$, як більш значущої при проектуванні [12].

Водостійкість визначалася після 2 годин замочування зразків і після 48 годин замочування (з урахуванням наявності в суміші компонентів, що повільно тверднуть, - цементу і вапна). Зниження міцності в останньому випадку, порівняно з двогодинним замочуванням, становило в середньому 30 %. Проте мінімальна міцність зразків після 48 годин замочування була в межах 2,5÷4,5 МПа, що перевищує міцність вапняків-черепашників навіть у природному вологому стані. За міцність у сухому стані була прийнята міцність висушених зразків через 7 і 28 діб тверднення.

Як приклад на рис. 2 наведено ізоповерхні значень індексу водостійкості, що розраховані при математичному моделюванні за результатами вимірювань міцності зразків у сухому і вологому стані, які тверднули 7 діб при їх замочуванні впродовж 2 і 48 годин [13].

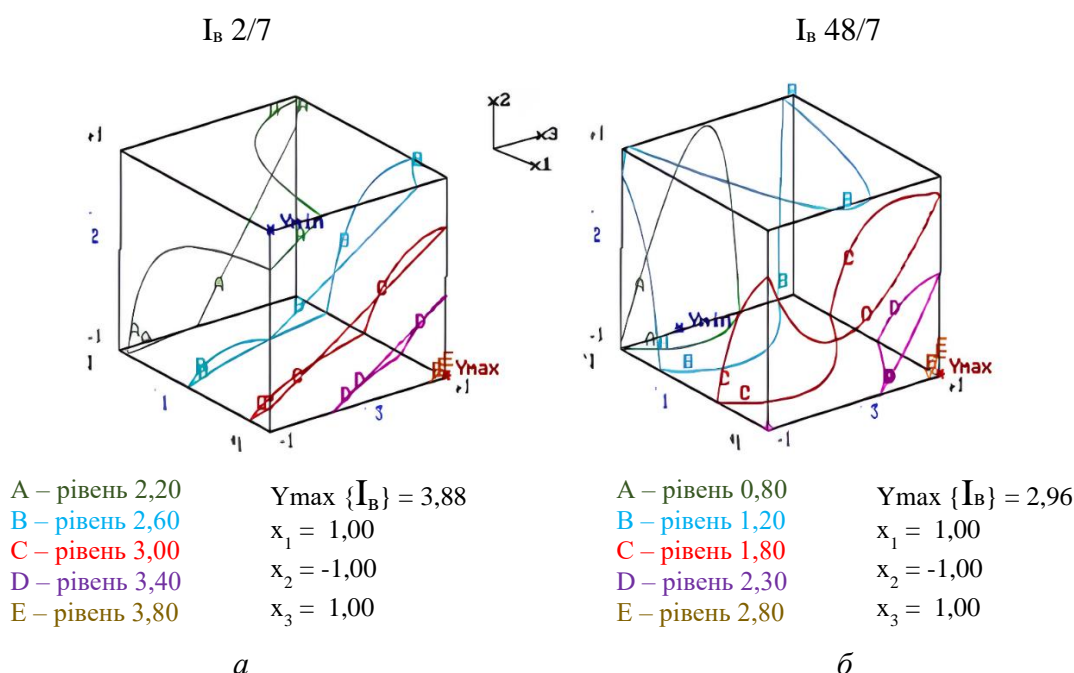


Рис. 2. Ізоповерхні індексу водостійкості I_B після твердіння зразків 7 діб та зволоження: а – 2 годин; б – 48 годин

Джерело: розроблено авторами.

Коефіцієнт розм'якшення, як більш звичний критерій також був розрахований; для деяких зразків за тих самих умов вимірювання він наближається до 0,8. Проведені дослідження підтвердили достатню водостійкість запропонованих рецептур з можливістю її подальшого покращення.

Аналізуючи моделі I_B та їхні графічні відображення можна зробити висновок про позитивний вплив на водостійкість ремонтної композиції на ЗГЦ в'язучому вмісту цементу (найбільший у досліджуваному інтервалі) і меншою мірою золи. Підвищення вмісту вапна в досліджуваному інтервалі знижує стійкість штукатурної композиції до води у ранньому віці. 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 також ускладнює технологію виготовлення матеріалу, прийнято рішення про виключення вапна зі складу експериментальної суміші при подальших дослідженнях.

Паропроникність - один із найважливіших критеріїв вибору штукатурної суміші для стін із черепашнику; узгодженість за цим параметром з основним матеріалом стіни є запорукою продовження життя історичних будівель на тривалий період. Водночас інформація про паропроникність стін старих будівель, зведених із вапняків різного походження, відсутня, так само як і інформація про переносні властивості новостворюваних багатокомпонентних штукатурних сумішей, що зумовило необхідність визначення паропроникності як штукатурних сумішей, які розробляють, так і власне черепашнику.

Паропроникність матеріалів визначали методом «сухої» чашки відповідно до проекту ДСТУ EN ISO 12572:202X [14]. Методику вимірювання паропровідності відпрацьовували на зразках черепашнику, відібраних із реальних будівель міста. Під час відпрацювання методики встановлено, що щільність потоку водяної пари через черепашник стабілізується в проміжку між 4-ми і 8-ми добою від початку вимірювань (рис. 3), причому після 8 діб процес помітно сповільнюється, що пояснюється насиченням вологопоглинача.

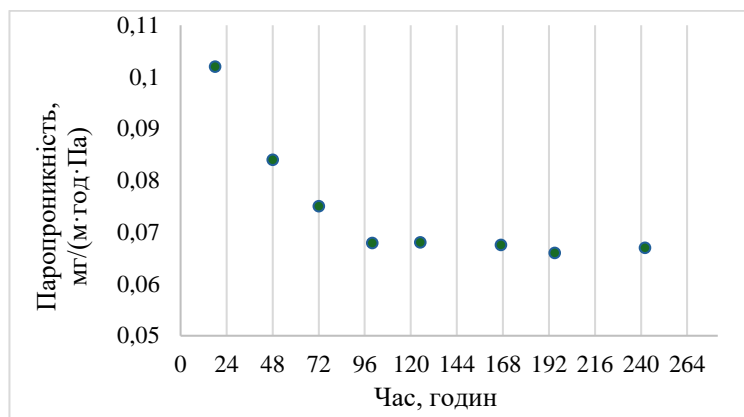


Рис. 3. Зміна паропроникності в часі вимірювання

Джерело: розроблено авторами.

Для зразків вапняку і складів, що розробляються, ухвалено рішення визначати паропроникність на підставі вимірів приросту вологи з 4-ої до 7-ої доби від моменту початку вимірювань. Так само визначено паропроникність зразків затверділої ЗГЦВ суміші, виготовлених у планованому експерименті. Усереднений коефіцієнт паропроникності зразків черепашнику, розрахований за результатами вимірювань, дорівнює $0,07 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па})$, паропроникність запропонованих нами складів коливається в межах $0,08 \div 0,09 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па})$. Подальше підвищення паропропускної здатності штукатурного складу пов'язане з підбором оптимального поєднання компонентів суміші.

Адгезія. Міцність зчеплення штукатурної суміші з черепашником є важливим фактором, який впливає на якість оздоблення. Адгезія будівельних і оздоблювальних матеріалів здійснюється в основному за принципом механічного з'єднання, механізм якого полягає в проникненні речовини, що наноситься, в пори зовнішнього шару, або з'єднанні з шорсткою поверхнею. Гіпсова штукатурка характеризується більш високою адгезією порівняно з цементною і цементно-вапняною штукатуркою [15], але для зологіпсоцементних складів дані про адгезію до вапняку відсутні.

Адгезія розроблених складів до поверхонь різної природи вимірювалась «методом відриву» кільця, заповненого сумішшю, від поверхні опорної пластини за допомогою експериментальної установки, що створена на кафедрі ПАТБМ ОДАБА. Враховуючи загальну стратегію розробки ремонтного складу щодо максимально можливого підвищення характеристик на цьому етапі, у тому числі адгезії, вирішено дослідити вплив адгезійної добавки на цю властивість. Водночас було встановлено суттєвий вплив стану опорної поверхні черепашника (наявність тріщин, каверн тощо) на результат вимірювання адгезії. Тому використані два види поверхонь - вапнякові та керамічні (як більш однорідні). Як адгезійну добавку використано добавку вітчизняного виробництва Ceresit CC 81 [16] у кількості 3 та 10 % від маси сухих компонентів при розведенні її водою в пропорції 1/4, згідно з інструкцією виробника. Для порівняння виготовлені контрольні бездобавочні зразки.

Зчеплення запропонованого бездобавочного складу з поверхнею черепашнику, усереднене за п'ятьма результатами вимірювань, характеризується зусиллям відриву на одиницю поверхні контакту – $0,25 \text{ МПа}$. Адгезія цього ж складу до поверхні керамічної плитки – $0,30 \text{ МПа}$. При введенні в суміш адгезійної добавки Ceresit CC 81 у кількості 3% міцність зчеплення штукатурної суміші з поверхнею черепашнику збільшується, порівняно з бездобавочною, – в 1,3 рази, а при введенні 10 % добавки – у 2 рази (рис. 4).

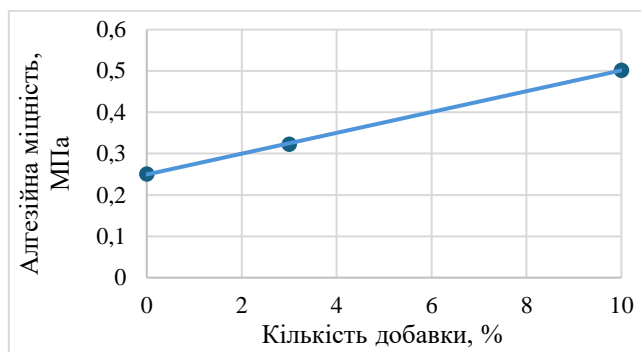


Рис. 4. Залежність міцності зчеплення штукатурної суміші з поверхнею черепашника від вмісту адгезійної добавки

Джерело: розроблено авторами.

Відносна зміна адгезійної міцності контакту суміші з керамічною поверхнею при введенні 3 % добавки становила 1,3 раза, порівняно з бездобавочною сумішшю, а при введенні 10 % добавки – 2,1 раза, проте в абсолютних значеннях адгезія до плитки передбачено вища, ніж до черепашника за будь-яких умов.

Якісно ефективність дії адгезійної добавки, залежно від її вмісту, можна візуально оцінити за слідами відриву суміші від поверхні (рис. 5): відрив кільця з бездобавочною сумішшю відбувається по контактній зоні (рис. 5, а), при 3-відсотковому вмісті добавки роз'єднання відбувається по контактній поверхні з частковим відривом матеріалу черепашника (рис. 5, б), а при 10-відсотковому вмісті - по самому черепашнику (рис. 5, в), що свідчить про перевищення в цьому разі адгезійної міцності контакту над когезійною міцністю черепашника.

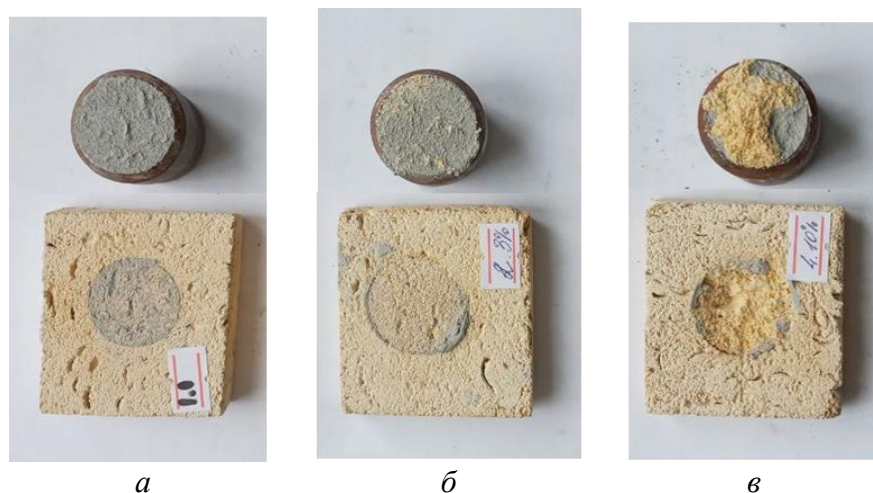


Рис. 5. Характер відриву кільця з експериментальною сумішшю від поверхні черепашника при:

а – відсутності адгезійної добавки; б – вмісті адгезійної добавки 3 %;
в – вмісті адгезійної добавки 10 %

Джерело: розроблено авторами.

Вочевидь, що на цьому можливості черепашника як фізичної основи для досліджень з підвищення міцності зчеплення з сумішшю вичерпані. Подальше вивчення адгезійних властивостей ремонтного складу слід проводити з використанням керамічної плитки. Потенційне збільшення (в межах вищезазначеної стратегії) адгезійного зчеплення штукатурки з матеріалом основної стіни можливе за введення до суміші комплексу пластифікуючих, гідрофобізуючих та адгезійних добавок.

Деформативні властивості. Вологісні й температурні деформації затверділої штукатурної суміші слід мінімізувати, особливо в разі високої міцності зчеплення між шарами штукатурки і основної стіни. Проведено попередні дослідження доцільності застосування базальтової та поліпропіленової фібри у складі штукатурної суміші. Це два типи армувальних волокон, що використовуються для поліпшення властивостей бетону. Вони мають різні переваги та недоліки, які необхідно враховувати при виборі матеріалу для конкретного застосування [17]. За наявною інформацією поліпропіленова фібра - краща для оздоблювальних робіт у житлових і громадських будівлях з помірними експлуатаційними умовами, де не потрібна висока термостійкість і міцність; має відносно невисоку вартість. Базальтова фібра - більш спеціалізований матеріал, використовується там, де потрібні високі показники міцності, термостійкості та стійкості до агресивних середовищ. Оптимальна для об'єктів з екстремальними умовами експлуатації.

Завданням цього дослідження було оцінити вплив фібри на стійкість проєктованої суміші до дії води і величину вологісних деформацій та вибрати вид фібри для подальших досліджень.

Визначалася водостійкість трьох сумішей: без добавки фібри та з 0,1% вмістом базальтової або поліпропіленової фібри. Усереднені результати вимірювань міцності зразків у сухому та водонасиченому стані і показники їхньої водостійкості - коефіцієнт розм'якшення K_p та індекс водостійкості I_v наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Міцності зразків у сухому та водонасиченому стані+ і показники їхньої водостійкості K_p і I_v

Вид фібри	№ зразків у групі	Міцність на згин (сух), МПа	Міцність на стиск (сух), МПа	Міцність на стиск (вол), МПа	K_p	K_p ср	I_v	I_v ср
Базальтова	1	2,84	3,84	3,2	0,83	0,85	2,67	2,95
	2	2,81	4,25	3,7	0,87		3,22	
Поліпропіленова	1	3,06	4,16	3,68	0,88	0,81	3,26	2,92
	2	2,99	4,8	3,52	0,73		2,58	
Відсутня	1	2,61	2,88	2,48	0,86	0,86	2,14	2,38
	2	2,29	3,52	3,04	0,86		2,63	

Джерело: розроблено авторами.

З даних табл. 2 випливає, що водостійкість пропонованого складу без додавання фібро-волокон, оцінювана за K_p , перевищує водостійкість складів з добавкою фібри, хоча міцність бездобавочного складу мінімальна в будь-якому стані матеріалу. Цей факт ще раз підтверджує нашу тезу про недостатню коректність коефіцієнта розм'якшення, порівняно із запропонованим нами індексом водостійкості. Введення в суміш фібри дає змогу підвищити міцність матеріалу як у сухому, так і у водонасиченому стані в 1,35-1,5 рази, причому ефект від введення базальтової або поліпропіленової фібри приблизно однаковий.

У попередньому експерименті з оцінки впливу фібри на величину вологісних деформацій штукатурної суміші три серії зразків, - без додавання фібри і з фіброю двох зазначених вище видів, піддавалися почерговому зволоженню і висушуванню. Відносна зміна довжини зразків склала: з базальтовою фіброю - 0,5%, з поліпропіленовою фіброю - 0,4 %, бездобавочні - 0,7 %. Враховуючі приблизно однаковий ефект від введення базальтової і поліпропіленової фібри, а також меншу вартість останньої, прийняте рішення про застосування в подальших дослідженнях поліпропіленової фібри.

Висновки. У роботі вперше наведено результати комплексного дослідження штукатурного складу на основі зологіпсоцементного в'язучого для ремонтно- реставраційних робіт на фасадах будівель з вапняку-черепашника. Аналіз отриманих результатів вимірювань вла-

стивостей запропонованого складу дозволяє дійти висновку про можливість його застосування для оштукатурювання стін будівель з черепашника. Подальше вдосконалення ремонтного складу пов'язане з використанням комплексу хімічних добавок.

Список використаних джерел

1. Камінь черепашник, властивості і особливості матеріалу. Статті компанії «ПП Будпостач: газобетон и газоблок по оптовій ціні» [Електронний ресурс] // ПП Будпостач: газобетон и газоблок по оптовій ціні – контакти, товари, послуги, ціни. – Режим доступу: <https://pp-budpostach.com.ua/ua/a227390-kamin-cherepashnik-vlastivosti.html>.
2. Новский, А. В. Известняк-ракушечник / А. В. Новский, В.А. Новский, Ю. Ф. Тугаенко // Исследование и использование в качестве основания фундаментов. – Одесса : Астропринт, 2014. – С. 32.
3. Обвал 4-поверхівки в Одесі – вже п'ятий за 4 місяці: чому це відбувається, і на що чекати людям [Електронний ресурс] // ТСН.ua. – Режим доступу: <https://tsn.ua/ukrayina/obval-4-poverhivki-v-odesi-vzhe-p-yatiy-za-4-misyaci-chomu-ce-vidbuvayetsya-i-na-scho-chekati-lyudyam-1563342.html>.
4. Kersh, V. Repair mixture for limestone-shell buildings / V. Kersh, D. Levytskyi, S. Tykhoniuk // Актуальні проблеми енергоресурсозбереження та екології: Актуальні проблеми енергоресурсозбереження та екології : V Міжн. наук.-техн. конф., (м. Одеса, 13-14 грудня 2023р.). – Одеса, 2023. – С. 76-78.
5. Исторический центр Одессы включён в список всемирного наследия ЮНЕСКО [Електронний ресурс] // Newssky.com.ua. – Режим доступу: <https://newssky.com.ua/istoricheskij-czentr-odessy-vklyuchyon-v-spisok-vsemirnogo-naslediya-yunesko>.
6. MAPE-ANTIQUÉ MC [Electronic resource] // Italy. – Mode of access: <https://www.mapei.com/it/en/products-and-solutions/products/detail/mape-antique-mc>. – Title from screen.
7. Дворкин, Л. И. Строительные минеральные вяжущие материалы / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Москва : Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.
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 / Олена Володимирівна Кондращенко; Українська держ. академія залізничного транспорту. – Харків, 2004. – 40 с.
9. Єфіменко, А. С. Підвищення водостійкості гіпсових матеріалів поліфракційними мінеральними добавками : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Артем Сергійович Єфіменко. – Харків : УкрДУЗТ, 2021. – 167 с.
10. Новосад, П. В. Підвищення водостійкості гіпсових в'язучих / П. В. Новосад, М. А. Саницький, О. Р. Позняк // Вісник НУ “Львівська політехніка”. Серія: Теорія і практика будівництва. – 2018. – № 888. – С. 111-116.
11. Вознесенский, В. А. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Я. П. Иванов, И. И. Николов. – Киев: Будивельник, 1989. – 240 с.
12. Керш В. Я. Описание водостойкости гипсосодержащих композиций с помощью комбинированного критерия / В. Я. Керш, А. В. Фоц, А. В. Колесников // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2017. – Вип. 168. – С. 133-139.
13. Керш, В. Підвищення водостійкості штукатурної суміші на основі гіпсовміщуючого в'язучого / В. Керш, Д. Левицький, С. Тихонюк, і А. Фоц // Містобудування та територіальне планування. – 2024. – Вип. 86. – С. 300-313.
14. ДСТУ EN ISO 12572:202X (EN ISO 12572:2016, IDT; ISO 12572:2016, IDT). Гіротермічні характеристики будівельних матеріалів та виробів. Визначення властивостей пропускання водяної пари (паропроникності). Чашковий метод. (проект, остаточна редакція) [Електронний ресурс]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ». – Режим доступу: https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/ДСТУ%20EN%20ISO_12572_остаточна%20ред.pdf.
15. Види та призначення штукатурок у будівництві. Застосування [Електронний ресурс] // РЕМСУМІ. – Режим доступу: <https://remont.sumy.ua/types-of-plasters/>.
16. CERESIT CO 81 [Electronic resource] // Головна – Ceresit. – Mode of access: https://www.ceresit.ua/catalog/gidroizolicija/zaxyst-vid-kapiljarnoji-volohy/produkti.html/ceresit-co-81/SAP_0201WQC014A5/variation/1683234.html.
17. Полипропиленовая фибра и базальтовая фибра сравнение [Электронный ресурс] // Склад строительных материалов, оптовые цены в интернет-магазине Budmat. – Режим доступа: <https://budmat.kiev.ua/stati/polipropilenovaya-i-bazaltovaya-fibra-sravnenie>.

References

1. Kamin cherepashnyk, vlastyvoli i osoblyvosti materialu [Shell rock stone, properties and features of the material]. (n.d.). <https://pp-budpostach.com.ua/a227390-kamin-cherepashnik-vlastyvoli.html>.
2. Novskiy, A.V., Novskiy, V.A., & Tuhaenko, Yu.F. (2014). *Yzvestniak-rakushechnyk. Yssledovanye y yspolzovanye v kachestve osnovaniya fundamentov [Shell limestone. Research and use as a base for foundations]*. Astroprynt.
3. Obval 4-poverkhivky v Odesi – vzhe piaty za 4 misiatsi: chomu tse vidbuvaietsia, i na shcho chekamy liudiam [The collapse of a 4-story building in Odessa is already the fifth in 4 months: why is it happening, and what should people expect]. (2020). <https://tsn.ua/ukrayina/obval-4-poverhivki-v-odesi-vzhe-p-yatiy-za-4-misyaci-chomu-ce-vidbuvayetsya-i-na-scho-chekati-lyudyam-1563342.html>.
4. Kersh, V., Levytskyi, D., & Tykhoniuk, S. (2023). Repair mixture for limestone-shell buildings. *Zbirnyk tez V Mizhn. nauk.-tekhn. konf. «Aktualni problemy enerhoresursozberezhennia ta ekolohii»*. ODABA.
5. *Istorycheskyi tsentr Odessy vkluchen v spysok vsemyrnoho nasledyia YuNESKO [The historical center of Odessa is included in the UNESCO World Heritage List]*. <https://newssky.com.ua/ru/istoricheskij-czentr-odessy-vklyuchyon-v-spisok-vsemirnogo-naslediya-yunesko>.
6. MAPE-ANTIQUÉ MC. <https://www.mapei.com/it/en/products-and-solutions/products/detail/mape-antique-mc>.
7. Dvorkyn, L.Y., Dvorkyn, O.L. (2011). *Stroytelnye myneralnye viazhushchye materyaly [Construction mineral binding materials]*. Infra-Inzheneriya.
8. Kondrashchenko, O.V. (2005). Hipsovi budivelni materialy pidvyshchenoi mitsnosti i vodostiikosti (fyziko-khimichni ta enerhetychni osnovy) [Gypsum building materials with increased strength and water resistance (physical, chemical and energy bases)]. *Abstract of candidate's thesis*. Kharkiv: UkrDAZT.
9. Yefimenko, A.S. (2021). Pidvyshchennia vodostiikosti hipsovykh materialiv polifraktsiinymy mineralnymy dobavkamy [Increasing the water resistance of gypsum materials with polyfractional mineral additives]. *Candidate's thesis*. Kharkiv: UkrDUZT.
10. Novosad, P. V., Sanytskyi, M. A., & Pozniak O. R. (2018). Pidvyshchennia vodostiikosti hipsovykh viazhuchykh [Increasing the water resistance of gypsum binders]. *Visnyk NU "Lvivska politekhnika". Seriya: Teoriia i praktyka budivnytstva. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 888, 111–116.*
11. Voznesenskyi, V.A., Liashenko, T.V., Yvanov, Ya.P., Nykolov, I.I. (1989). *EVM y optymizatsyia kompozytsonnykh materyalov [Computers and optimization of composite materials]*. Budyvelnyk.
12. Kersh, V.Ya., Foshch, A.V., & Kolesnykov, A.V. (2017). Opysanye vodostoikosty hypsosoderzhashchykh kompozytysi s pomoshchiu kombynyrovannoho kryterya [Description of water resistance of gypsum-containing compositions using a combined criterion]. *Zbirn. nauk. prats UDUZT*. UDUZT.
13. Kersh, V., Levytskyi, D., Tihoniuk, S., & Foshch, A. (2024). Increasing the water resistance of the plaster mixture based on gypsum-containing binder. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: Nauk.-tekhn. zbirnyk, 86.*
14. DSTU EN ISO 12572:202X (EN ISO 12572:2016, IDT). Hihrotermichni kharakterystyky budivelnykh materialiv ta vyrobiv. Vyznachennia vlastyvostei propuskannia vodianoï pary (paropronyknosti). Chashkovyi metod. (proekt, ostatechna redaktsiia) [Hygrothermal characteristics of building materials and products. Determination of the properties of water vapor transmission (vapor permeability). Cup method (draft, final version)]. Kyiv: DP «UkrNDNTs».
15. Vydy, osoblyvosti ta zastosuvannia shtukaturok u budivnytstvi [Types, features and application of plasters in construction]. (2015). <https://remont.sumy.ua/types-of-plasters/>
16. CERESIT CO 81. (n.d.). <https://www.ceresit.com/products/waterproofing/product.html/ceresit-co-81.html>.
17. Polipropilenoivaia fibra i bazaltovaia fibra sravnenie. [Polypropylene fiber and basalt fiber comparison]. (n.d.). <https://budmat.kiev.ua/stati/polipropilenovaya-i-bazaltovaya-fibra-sravnenie>.

Отримано 28.10.2024

Volodymyr Kersh¹, Sergey Tihoniuk²

¹PhD, professor of the Department of Urban Construction and Economy,
Odessa State Academy of Construction and Architecture (Odessa, Ukraine)
E-mail: kersh@odaba.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6085-5260>
ResearcherID: [LGZ-1769-2024](https://orcid.org/0000-0001-6085-5260)

² graduate student of the Department of Urban Construction and Economy,
Odessa State Academy of Construction and Architecture (Odessa, Ukraine)
E-mail: tihoniuk1984@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-9444-3905>
ResearcherID: [LGZ-8666-2024](https://orcid.org/0009-0009-9444-3905)

**PLASTER COMPOSITION FOR BUILDINGS MADE OF
LIMESTONE-SHELL ROCK**

Most of the historic buildings in the Northern Black Sea region are made of local natural stone, limestone-shell rock, which has quite good technical and operational properties. However, over time, these buildings can be subjected to destructive processes associated with the influence of external factors such as humidity, frost, and mechanical damage. The disadvantage of shell rock is the loss of strength when it is moistened due to damage to the plaster layer or its absence. Soaking the material leads to a decrease in the bearing capacity of the structure, which can lead to the destruction of buildings. To restore shell rock buildings, special repair, and restoration compositions should be used that are consistent in their properties with the material of the structures. An ash and gypsum cement (AGC) mixture was used as the binder of such a composition. The article first presents the results of a comprehensive study of a number of properties of the proposed mixture: water resistance, strength, vapor permeability, adhesion, based on which a conclusion is made about the possibility and expediency of using mixtures based on ZGC binders for repair and restoration work on the facades of limestone buildings. During the experiments to evaluate water resistance, it was found that the strength of the ZGC composition in the wet state (with a softening coefficient K_r greater than 0.8) exceeds the strength of shell rock under equilibrium humidity, which makes it possible to recommend this composition for use in facade works. At the same time, we confirmed the greater correctness of our proposed criterion - the water resistance index I_v . According to the measurement results, it was found that the vapor permeability of the samples with the ZGC mixture exceeds the vapor permeability of shell rock, i.e. the plaster layer will not prevent the escape of water vapor from the structure. The adhesion strength of the ZGC composition with the surface of shell rock, when an adhesive additive is introduced, meets the regulatory requirements and can be further increased by a complex of chemical additives and more thorough surface preparation. The possibility of adjusting the deformation properties of the repair mixture using fiberglass is also shown. Further improvement of the repair composition is associated with the use of a complex of chemical additives.

Key words: limestone-shell rock; ash and gypsum cement mixture; planned experiment; water resistance; strength; vapor permeability; adhesion.

Fig.: 5. Table: 2. References: 17.