DOI: https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2(44)-525-535
УДК 691.55:699.88

Володимир Яковлевич Керш[1], Володимир Володимирович Бацуєв[2], Тетяна Василівна Ляшенко[3], Микола Володимирович Хлицов[4]

[1]кандидат 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

[2]здобувач ступеня доктора філософії, аспірант кафедри міського будівництва та господарства
Одеська державна академія будівництва та архітектури (Одеса, Україна)
E-mail: 924v.batsuiev@odaba.edu.ua. **ORCID:** https://orcid.org/0009-0007-7276-2185. **ResearcherID:** PVE-4973-2026

[3]доктор технічних наук, професор кафедри процесів та апаратів в технології будівельних матервалів
Одеська державна академія будівництва та архітектури (Одеса, Україна)
E-mail: lyashenko@odaba.edu.ua. **ORCID:** https://orcid.org/0000-0002-6232-4866. **ResearcherID:** PVE-2402-2026

[4]кандидат технічних наук, доцент кафедри процесів та апаратів в технології будівельних матеріалів
Одеська державна академія будівництва та архітектури (Одеса, Україна)
E-mail: khlytsov@odaba.edu.ua. **ResearcherID:** PVE-2229-2026

ГІПСОЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНІ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ФАСАДІВ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ

У статті представлено результати комплексного дослідження гіпсоцементнозольних складів, призначених для ремонту і реставрації фасадів будівель з вапняку-черепашнику. На першому етапі дослідження встановлено базовий склад суміші, підтверджено достатній рівень водостійкості, паропроникності, адгезії та деформативних властивостей. На другому етапі вивчено вплив пластифікатора, гідрофобізатора та фіброволокна на міцність у трьох станах зволоження матеріалу: сухому, рівноважному та водонасиченому. Побудовано математичні моделі властивостей. Аналіз однофакторних залежностей показав неоднозначний вплив добавок залежно від ступеня зволоження матеріалу. Намічені подальші дослідження, пов'язані з введенням мікрокремнезему та метилцелюлози.

***Ключові слова**: вапняк-черепашник; гіпсоцементнозольна суміш; планований експеримент; водостійкість; міцність; паропроникність; адгезія; вологісні деформації.*
Рис.: 5. Табл.: 3. Бібл.: 19.

Постановка проблеми. Матеріалом, з якого зведена значна кількість будівель півдня України, зокрема міста Одеси, є місцевий природний камінь — вапняк-черепашник. Цей матеріал, що утворився з решток раковин морських організмів (рис. 1), відзначається рядом цінних будівельно-технічних властивостей: відносно низькою теплопровідністю, хорошими шумозахисними характеристиками, доступністю та невисокою вартістю [1]. Натуральний матеріал відповідає вимогам екології на всіх етапах життєвого циклу – від виробництва до деградації та утилізації.

Рис. 1. Структура черепашнику

Джерело: розроблено авторами.

© В. Я. Керш, В. В. Бацуєв, Т. В. Ляшенко, М. В. Хлицов, 2026

Водночас черепашник має суттєвий недолік – значну втрату міцності при зволоженні, що є головною причиною зниження несучої здатності конструкцій аж до їхнього повного руйнування [2], деякі приклади показано на рис. 2.

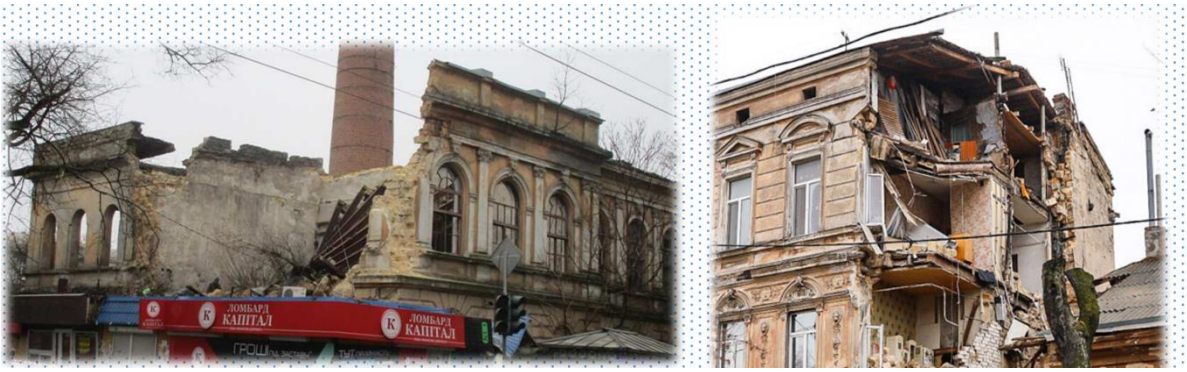

Рис. 2. Приклади обрушення будівель з черепашнику
Джерело: розроблено авторами.

Руйнування будівель з черепашнику в Одесі останніми роками трапляються дедалі частіше [3]. Серед факторів, що спричиняють зволоження зовнішніх стін, слід виділити: відсутність або руйнування вимощення, неякісну гідроізоляцію фундаментів, пошкодження системи відведення дощової води, а також, що найважливіше, — пошкодження або повну відсутність штукатурного шару.

Практика показує, що спроби ремонту стін з черепашника звичайними цементно-піщаними складами нерідко прискорюють руйнування конструкцій. Це зумовлено структурною несумісністю матеріалів: надмірно висока міцність штукатурки, відмінність деформативних властивостей та, головне, менша паропроникність штукатурного шару порівняно з черепашником блокують природний вологообмін стіни [4]. Це призводить до відшарування цементної штукатурки від стін з черепашнику (рис. 3).

Рис. 3. Приклади відшаровування штукатурки від стін з черепашнику
Джерело: розроблено авторами

Актуальність теми дослідження. Включення історичного центру Одеси до Списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, порушувати питання ремонту і реставрації міської забудови на новий рівень відповідальності [5].

Отримання такого статусу не лише відкриває доступ до міжнародної підтримки, а й вимагає суворого дотримання технологій збереження універсальної цінності об'єктів. Проте аналіз ринку показує, що широко розрекламовані імпортні суміші, які позиціонуються як універсальні, часто ігнорують специфіку місцевого вапняку-черепашнику [6].

На відміну від цегляного мурування, структура черепашнику потребує особливої фізико-хімічної сумісності. Відсутність такої гармонії між основою та штукатуркою призводить до розтріскування, втрати адгезії та прискореної деградації історичних фасадів. Використання неадаптованих штукатурок стає причиною накопичення внутрішніх напружень, що неминуче веде до відшарування оздоблювального шару та руйнування самої стіни [7]. У цьому контексті розробка бюджетних, але технологічно вивірених вітчизняних матеріалів для санації будівель із черепашнику є актуальним завданням для збереження житлової забудови, а також архітектурної автентичності міста.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз вітчизняної та зарубіжної наукової літератури свідчить про відсутність систематичних досліджень щодо застосування гіпсоцементно-пуцоланових в'яжучих у штукатурних сумішах для стін із черепашнику. Серед застосовуваних в'яжучих найбільш сумісними з вапняком-черепашником за фізико-механічними властивостями є вапно та гіпс. Вапняні суміші, наприклад, імпортний склад Histolith® Trass-Kalkputz фірми CAPAROL [8], мають високу паропроникність, проте вимагають нанесення тонкими шарами, тривалого тверднення в контрольованих умовах і захисту від атмосферних впливів під час твердіння, що робить їхнє застосування на фасадах ускладненим.

Гіпсові матеріали є перспективними завдяки швидкому твердінню, регульованому часу схоплювання, низькій теплопровідності, широкій сировинній базі та невисокій вартості [9]. Основний їхній недолік — низька водостійкість, обумовлена суттєвим зниженням міцності при зволоженні. Коефіцієнт розм'якшення будівельного гіпсу становить лише 0,30–0,45, що унеможливлює його використання у чистому вигляді для зовнішніх робіт [10].

Одним з найефективніших підходів до підвищення водостійкості гіпсових матеріалів вважається введення цементу та пуцоланових добавок (зола-винесення) з утворенням гіпсоцементно-зольних ГЦЗ-систем [11–13]. Ці роботи, однак, не стосувалися специфіки застосування таких систем для ремонту фасадів з черепашника. Таким чином, розробка вітчизняних штукатурних матеріалів спеціального призначення на ГЦЗ-в'яжучому для стін з черепашника є актуальним науковим і практичним завданням.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз наявних вітчизняних і зарубіжних джерел дав змогу дійти висновку про відсутність наукової інформації щодо можливого застосування ГЦЗ в'яжучих у штукатурних сумішах для стін із черепашнику, а також щодо досліджень комплексу різноманітних властивостей таких сумішей спеціального призначення, важливих з погляду узгодженості штукатурного шару з основним матеріалом стіни. Невивченою на даний час є поведінка ГЦЗ матеріалу з модифікуючими добавками та армованого волокнами при його зволоженні.

Метою статті є аналіз впливу добавок – пластифікуючої, гідрофобізуючої і фібри – на міцність гіпсоцементнозольної штукатурної суміші в різних станах вологості матеріалу.

Для досягнення цієї мети на даному етапі вирішено такі завдання:

1) на основі планованого експерименту виготовлено дослідні зразки,

2) виміряно міцність зразків при стиску і при вигіні в різних станах вологості,

3) побудовані математичні моделі властивостей,

4) встановлено індивідуальний вплив рецептурних факторів на міцність у різних станах вологості,

5) встановлено раціональний склад суміші,

6) прийнято рішення про подальшу модифікацію складу за рахунок зміцнюючих і водоутримуючих добавок.

Виклад основного матеріалу. Стратегія дослідження включає три послідовні етапи: перший — визначення базового складу ГЦЗ в'яжучого та комплексне вивчення

його властивостей; другий – модифікація складу з підвищенням показників міцності, водостійкості, адгезії та паропроникності за рахунок хімічних і модифікуючих добавок (пластифікатор, гідрофобізатор, фібра); третій — вдосконалення суміші з введенням мікрокремнезему та метилцелюлози з подальшим частковим заміщенням в'яжучого відходами каменепілення черепашника для узгодження властивостей та здешевлення складу.

У цій статті розглянуто результати перших двох етапів. Завдання включали: встановлення базового складу та оцінку основних властивостей (міцність, водостійкість, паропроникність, адгезія, деформативні властивості); вивчення впливу хімічних добавок і фібри на міцність при стиску та вигині у різних станах зволоження матеріалу.

Перший етап: базовий склад ГЦЗ в'яжучого

На першому етапі в'яжуча основа штукатурного складу формувалася з гіпсу Г5 у поєднанні з меленим цементним клінкером та золою ТЕС як пуцолановою добавкою. Для підвищення пластичності та водостійкості додатково вводили гашене вапно. Склад варіювався в трифакторному планованому експерименті B_3 [14] з незалежними змінними: кількість цементу (X1: 40–60 мас. ч. на 100 ч. гіпсу), вапна (X2: 40–60 мас. ч.) та золи (X3: 20–60 мас. ч.). Водотверде відношення, підібране за нормальною густиною суміші, становило 0,6. Зразки виготовлено у вигляді стандартних балочок розміром 40×40×160 мм. Вимірювання міцності проводилося через 7 та 28 діб тверднення.

За результатами першого етапу встановлено базовий склад: Г – 50 %, Ц – 30 %, З – 20 %. Лабораторна перевірка підтвердила прийнятний рівень водостійкості, адгезії, паропроникності та деформативних характеристик для ремонтних робіт на фасадах з черепашнику. Таблиця 1 узагальнює порівняльні характеристики черепашнику та розробленого ГЦЗ складу.

Таблиця 1 – Порівняння основних властивостей черепашнику та ГЦЗ складу

Властивість	Черепашник	ГЦЗ склад	Вимога
Міцність на стиск, МПа	2,0–3,5	4,0–6,0	Узгодженість
Паропроникність, мг/(м·год·Па)	0,07	0,08–0,09	> матеріалу стіни
Коефіцієнт розм'якшення	0,7–0,75	0,70–0,80	> матеріалу стіни
Адгезія до черепашнику, МПа	–	0,25–0,40	> 0,20

Джерело: розроблено авторами.

Водостійкість оцінювалася коефіцієнтом розм'якшення $K_р = R_{вол}/R_{сух}$ та запропонованим індексом водостійкості $I_в = R^2_{вол}/R_{сух}$ [15], який більш коректно відображає реальну несучу здатність матеріалу в умовах зволоження та є більш адекватною і чутливою характеристикою при моделюванні. Для деяких зразків ГЦЗ складу Кр наближається до 0,8 навіть після 48 годин замочування.

Виміряна паропроникність черепашнику становить 0,07 мг/(м·год·Па), тоді як паропроникність розроблених складів — 0,08–0,09 мг/(м·год·Па) [16, 17], що гарантує відсутність перешкод для природного вологообміну конструкцій. Слід зазначити, що даних вимірювання паропроникності черепашнику другими дослідниками знайти не вдалося. За табличними даними ДСТУ 9191 [18] для вапняку порівнянної щільності 1800 кг/м³ наведено значення коефіцієнта паропроникності 0,075 мг/(м·год·Па), що дещо перевищує наші результати. Однак слід розуміти, що ми використовували в експерименті не нові камені, а відібрані з реальних конструкцій, які пропрацювали понад 100 років. У результаті тривалої експлуатації під навантаженням структура матеріалу ущільнилася, пори закольматувалися відкладеннями солей, і проникність для пари погіршилася. Оскі-

льки розроблюваний склад призначений для ремонту існуючих старих будівель, прийняття величини 0,07 мг/(м· год·Па) як орієнтира для узгодження властивостей черепашнику та штукатурної суміші, видається виправданим.

Адгезія бездобавкового складу до поверхні черепашнику становить 0,25 МПа; введення адгезійної добавки Ceresit CC 81 у кількості 3 % підвищує її в 1,3 раза, а 10 % — у 2 рази [19].

Вибір поліпропіленової фібри для другого дослідного плану базувався на результатах попереднього порівняльного випробування базальтової та поліпропіленової фібри (табл. 2). Позначення в таблиці: Rвиг сух – міцність при вигіні у сухому стані, Rст сух – міцність при стиску у сухому стані, Rст вол – міцність при стиску у водонасиченому стані, Ів – індекс водостійкості.

Таблиця 2. Порівняння властивостей складів з різними видами фібри

Вид фібри	Rвиг сух, МПа	Rст сух, МПа	Rст вол, МПа	Ів
Базальтова	2,81-2,84	3,84–4,25	3,20–3,70	2,95
Поліпропіленова	2,99-3,06	4,16–4,80	3,52–3,68	2,92
Відсутня	2,29-2,61	2,88–3,52	2,48–3,04	2,38

Джерело: розроблено авторами.

Обидва види фібри підвищують міцність у сухому та водонасиченому станах у 1,35…1,50 раза та знижують вологісні деформації (з 0,7 % для бездобавочного складу до 0,4…0,5 %). Враховуючи приблизно однаковий ефект та меншу вартість поліпропіленової фібри, обрано саме цей вид.

Другий етап: вплив модифікаторів

На другому етапі як основу використовувався визначений базовий склад ГЦЗ в'яжучого без вапна (що виключено за результатами аналізу першого етапу — вапно знижує водостійкість у ранньому віці та нівелює дію пуцоланової добавки). Досліджувався вплив двох хімічних добавок і фібри. В експерименті за трифакторним планом B_3 варіювалися дозування пластифікатора (фактор X1), гідрофобізатора (X2) та кількість фібри (X3), нормалізовані до $x_i \le |1|$). Рівні варіювання факторів наведено в табл. 3.

Досліджувалися міцність при стиску (Rст) та при вигині (Rвиг) у трьох станах матеріалу: сухому (сух), рівноважному (рів) та водонасиченому (вол). В ході планованого експерименту виготовлені та випробувані зразки, за результатами випробувань побудовано математичні моделі у вигляді поліномів другого ступеня з урахуванням взаємодії факторів. Розглянуті однофакторні залежності властивостей при фіксованих значеннях інших факторів у зонах максимуму та мінімуму цільової функції.

Таблиця 3 – Фактори та рівні їх варіювання у другому етапі експерименту

Номер фактора - i	Фактори	$x_i = -1$	$x_i = 0$	$x_i = +1$
1	Пластифікатор (% від маси в'яжучого)	0	0,3	0,6
2	Гідрофобізатор (% від маси в'яжучого)	0	0,5	1,0
3	Поліпропіленова фібра (г/л суміші)	0	0,5	1,0

Джерело: розроблено авторами.

Міцність при стиску. На рис. 4 наведено однофакторні залежності міцності при стиску (Rст) у трьох станах зволоження (а — сухий, б — рівноважний, в — водонасичений).

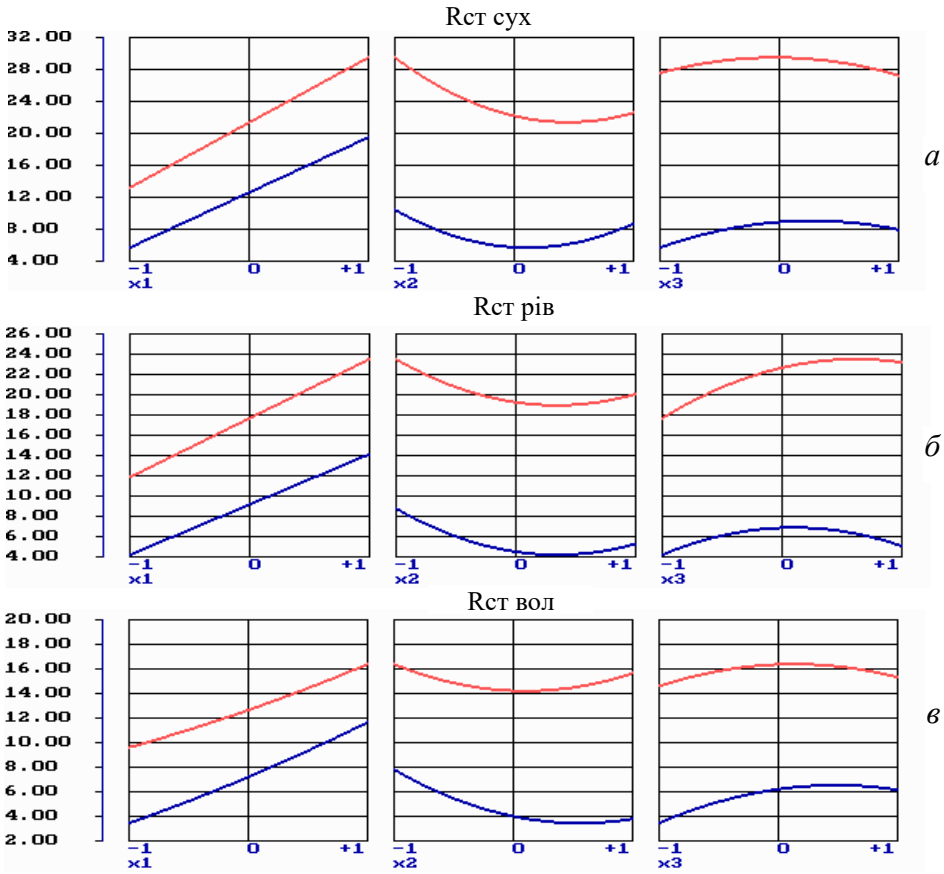

Рис. 4. Індивідуальний вплив факторів на міцність при стиску (зліва направо фактори – X1, X2, X3)

Джерело: розроблено авторами.

Червоні криві відповідають зонам максимуму міцності, сині — зонам мінімуму. Оскільки на даному етапі нашим завданням є підвищення всіх цільових властивостей, розглядатимемо вплив факторів саме у зоні максимуму.

Аналіз цих залежностей дозволяє зробити такі висновки.

Вплив пластифікатора (X1). У всіх трьох станах зволоження пластифікатор є домінуючим чинником зростання міцності: у сухому стані міцність при стиску зростає від ~12–16 МПа при X1 = –1 до ~25–28 МПа при X1 = +1; у рівноважному – від ~14 до ~25 МПа; у водонасиченому — від ~9 до ~17 МПа. Характер залежності близький до лінійного, без виражених ефектів насичення, що свідчить про можливість подальшого підвищення дозування пластифікатора. Зростання міцності пояснюється зниженням водотвердого відношення та покращенням структури твердіючого каменю за рахунок пластифікуючої дії добавки.

Вплив гідрофобізатора (X2). Поведінка гідрофобізатора є неоднозначною залежно від ступеня зволоження. В зоні максимуму міцності (при оптимальному вмісті пластифікатора) зростання X2 від –1 до +1 призводить до зниження міцності від ~25 до ~9–10 МПа у сухому стані та від ~20 до ~5 МПа у рівноважному стані. У водонасиченому стані зниження міцності від гідрофобізатора в зоні максимуму є менш вираженим. Така поведінка свідчить про те, що гідрофобізатор, зменшуючи водопоглинання матеріалу, опосередковано підтримує міцність у вологому стані, однак за рахунок порушення структури гідратних новоутворень знижує міцність у сухому стані при малому вмісті пластифікатора.

Вплив фібри (X3). Поліпропіленова фібра виявляє помітний позитивний вплив на міцність при стиску переважно у водонасиченому стані: в зоні максимуму міцність зростає від ~12 до ~18–19 МПа при X3 від –1 до +1. У сухому та рівноважному станах ефект фібри на міцність при стиску є меншим, але загалом позитивним. Армуюча дія поліпропіленових волокон сприяє стримуванню розкриття мікротріщин при навантаженні насиченого водою матеріалу.

Міцність при вигині. Однофакторні залежності міцності при вигині (рис. 5) демонструють загалом подібні тенденції, але з рядом характерних особливостей.

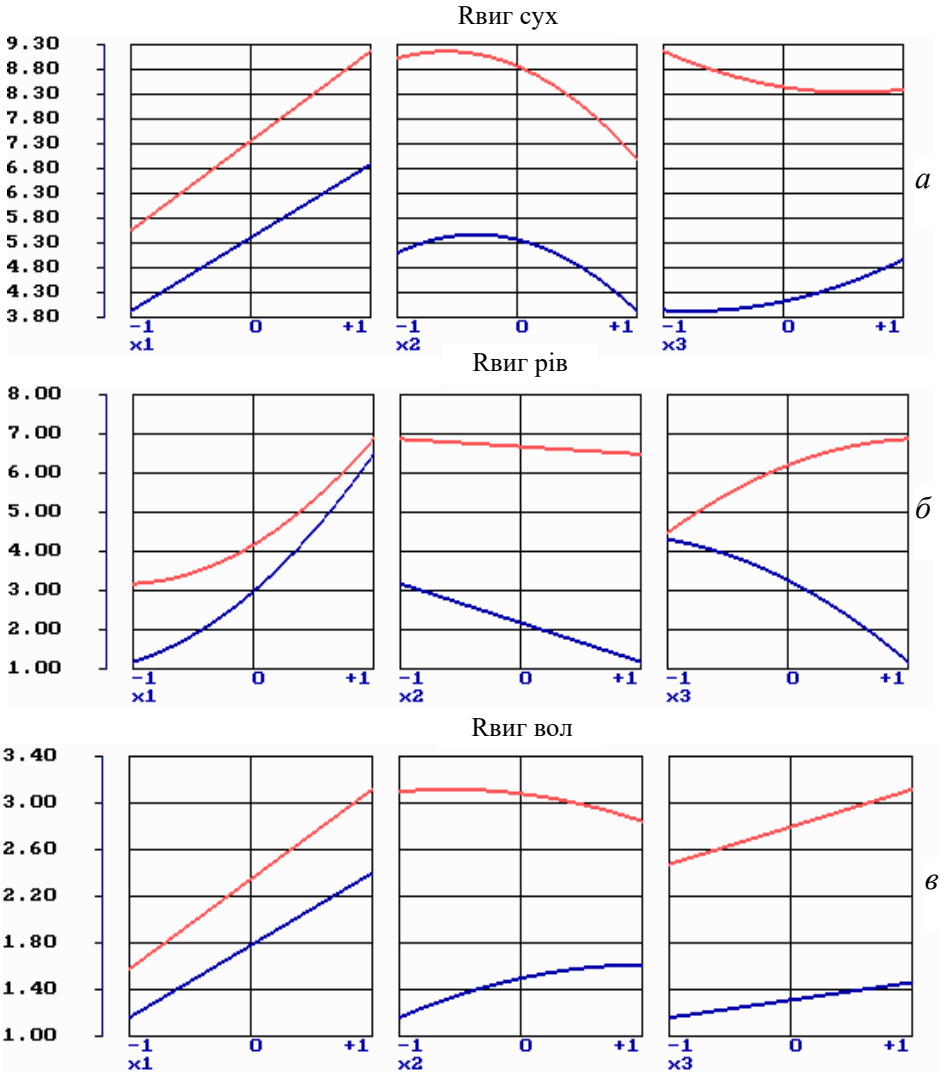

Рис. 5. Індивідуальний вплив факторів на міцність при вигині (зліва направо фактори – X1, X2, X3)

Джерело: розроблено авторами.

У сухому стані (а) міцність при вигині зростає зі збільшенням X1, проте залежність від X2 має виражений куполоподібний характер з максимумом при X2 ≈ 0 у зоні максимуму міцності. Це свідчить про оптимальне дозування гідрофобізатора близько середнього рівня варіювання. При цьому фібра (X3) дає позитивний лінійний ефект – від ~5 до ~8,5–9 МПа.

У рівноважному стані (б) вплив пластифікатора на міцність при вигині є лінійним і монотонним (від ~3 до ~7 МПа). Гідрофобізатор знижує міцність у зоні максимуму. Фібра дає виражений позитивний вплив — від ~4 до ~6,5 МПа в зоні максимуму.

У водонасиченому стані (в) характер залежностей суттєво змінюється. Пластифікатор залишається провідним позитивним чинником, проте ефект гідрофобізатора стає помірно позитивним в зоні максимуму, що принципово відрізняється від поведінки у сухому та рівноважному станах. Це підтверджує гіпотезу про те, що гідрофобізатор, обмежуючи капілярне всмоктування, зберігає міцність матеріалу при зволоженні. Вплив фібри залишається позитивним та зростає відносно попередніх станів.

Висновки. У роботі вперше наведено результати дослідження модифікованої штукатурної суміші на основі зологіпсоцементного в'яжучого для ремонтно- реставраційних робіт на фасадах будівель з вапняку-черепашника.

За результатами трифакторного планованого експерименту встановлено математичні моделі залежності міцності модернізованої штукатурної суміші при стиску та вигині від вмісту пластифікатора, гідрофобізатора та поліпропіленової фібри у трьох станах зволоження. Аналіз однофакторних залежностей показав, що вплив добавок є суттєво неоднозначним при різних ступенях зволоження матеріалу, що є важливим для проектування складу під конкретні умови експлуатації.

Пластифікатор є домінуючим позитивним фактором для міцності при стиску та вигині в усіх трьох станах зволоження; його дозування доцільно тримати на максимальному рівні. Гідрофобізуюча добавка знижує міцність у сухому стані, однак сприяє збереженню міцності у водонасиченому стані, що потребує диференційованого підходу до його дозування; припускаючи, що штукатурну систему буде захищено від зволоження водостійким покриттям (фарбою), доцільно вводити гідрофобізатор у мінімальної кількості. Поліпропіленова фібра переважно позитивно впливає на міцність, особливо в умовах зволоження.

Намічено подальші етапи вдосконалення штукатурного складу: введення мікрокремнезему – для посилення пуцоланової активності та метилцелюлози – для підвищення водоутримуючої здатності, з наступним частковим заміщенням в'яжучого відходами різання черепашнику – для узгодження властивостей та здешевлення матеріалу.

Список використаних джерел

1. Камінь черепашник, властивості і особливості матеріалу. (б. р.). https://pp-budpostach.com.ua/a227390-kamin-cherepashnik-vlastivosti.html.

2. Новский, А. В., Новский, В. А., & Тугаенко, Ю. Ф. (2014). *Известняк-ракушечник. Исследование и использование в качестве основания фундаментов*. Одесса: Астропринт.

3. Обвал 4-поверхівки в Одесі: чому це відбувається і на що чекати людям. (2020). *ТСН*. 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. In *Proceedings of the V International scientific and technical conference "Actual problems of energy saving and ecology"* (pp. 76–78). Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

5. Исторический центр Одессы включен в список всемирного наследия ЮНЕСКО. (б. р.). https://newssky.com.ua/ru/istoricheskij-czentr-odessy-vklyuchyon-v-spisok-vsemirnogo-naslediya-yunesko/.

6. Tombulca, C., Çavuş, M., et al. (2023). Production of environmentally-friendly, high-strength repair mortar for the restoration of historical buildings. *Cement Wapno Beton*, 28(3).

7. ДСТУ-Н Б В.3.2-4:2016. (2016). *Настанова щодо виконання ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятках архітектури та містобудування*. Київ: Мінрегіон України.

8. Caparol. (б. р.). *Histolith® Trass-Kalkputz. Гідравлічна вапняна штукатурка*. https://www.caparol.ua/caparol_pim_import/caparol_ua/products/ti/291670/TI_Histolith_Trass-Kalkputz_UA_NEW_UA.pdf.

9. Дворкін, Л. Й., Дворкін, О. Л. (2011). *Будівельне матеріалознавство* : підручник. НУВГП.

10. ДСТУ Б В.2.7-82:2010. (2010). *Матеріали будівельні. В'яжучі гіпсові. Технічні умови*. Київ: Мінрегіонбуд України.

11. Кондращенко, О. В. (2005). *Гіпсові будівельні матеріали підвищеної міцності і водостійкості* (Автореферат дисертації доктора технічних наук, УкрДАЗТ, Харків).

12. Єфіменко, А. С. (2021). *Підвищення водостійкості гіпсових матеріалів поліфракційними мінеральними добавками* (Дисертація кандидата технічних наук, УкрДУЗТ, Харків).

13. Новосад, П. В., Саницький, М. А., & Позняк, О. Р. (2018). Підвищення водостійкості гіпсових в'яжучих. *Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія: Теорія і практика будівництва*, 888, 111–116.

14. Montgomery, D. C. (2019). *Design and Analysis of Experiments*, 10th Ed. Wiley.

15. Керш, В. Я., Фощ, А. В., & Колесніков, А. В. (2017). Описание водостойкости гипсосодержащих композиций с помощью комбинированного критерия. *Збірник наукових праць УДУЗТ*, 68, 133–139.

16. ДСТУ EN ISO 12572:202X. (202X). *Гігротермічні характеристики будівельних матеріалів та виробів. Визначення властивостей пропускання водяної пари. Чашковий метод*. ДП «УкрНДНЦ».

17. Керш, В. Я., & Тихонюк, С. А. (2024). Паропроникність як критерій вибору штукатурної суміші для стін із вапняку-черепашника. *Науково-технічний збірник «Просторовий розвиток»*, 326–337.

18. ДСТУ 9191:2022. (2023). *Теплоізоляція будівель. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель*. ДП «УкрНДНЦ».

19. Kersh, V., Levytskyi, D., Tihoniuk, S., & Foshch, A. (2024). Adhesive ability of gypsum-containing plaster compositions. *Сучасне будівництво та архітектура*, 9, 55–61.

References

1. *Kamin cherepashnyk, vlastyvosti i osoblyvosti materialu [Shell rock stone, properties and features of the material]*. https://pp-budpostach.com.ua/a227390-kamin-cherepashnik-vlastivosti.html.

2. Novskyi, A.V., Novskyi, V.A., & Tuhaenko, Yu.F. (2014). *Yzvestniak-rakushechnyk. Yssledovanye y yspolzovanye v kachestve osnovanyia fundamentov [Shell limestone. Research and use as a base for foundations]*. Astroprynt.

3. *Obval 4-poverkhivky v Odesi [Collapse of a 4-storey building in Odesa]*. https://tsn.ua/ukrayina/obval-4-poverhivki-v-odesi-vzhe-p-yatiy-za-4-misyaci-chomu-ce-vid-buvayetsya-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. *Ystorycheskyi tsentr Odessy vkliuchen 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. Tombulca, C., Çavuş, M. et al. (2023). Production of environmentally-friendly, high-strength repair mortar for the restoration of historical buildings. *Cement Wapno Beton., 28*(3).

7. DSTU-N B V.3.2-4:2016 Nastanova shchodo vykonannia remontno-restavratsiinykh robit na pam`iatkakh arkhitektury ta mistobuduvannia [Guidelines for the execution of repair and restoration works on architectural and urban planning monuments]. (2016).

8. Histolith® Trass-Kalkputz. Hidravlichna vapniana shtukaturka. https://www.caparol.ua/caparol_pim_import/caparol_ua/products/ti/291670/TI_Histolith_Trass-Kalkputz_UA_NEW_UA.pdf.

9. Dvorkin, L. Y., & Dvorkin, O. L. (2011). *Budivelne materialoznavstvo [Construction materials science]*. NUVHP.

10. DSTU B V.2.7-82:2010. Materialy budivelni. Viazhuchi hipsovi. Tekhnichni umovy [Building materials. Gypsum binders. Technical specifications]. (2010).

11. Kondrashchenko, O. V. (2005). *Hipsovi budivelni materialy pidvyshchenoi mitsnosti i vodostiikosti [Gypsum building materials of increased strength and water resistance]* [UkrDAZT].

12. Yefimenko, A. S. (2021). *Pidvyshchennia vodostiikosti hipsovykh materialiv polifraktsiinymy mineralnymy dobavkamy [Increasing the water resistance of gypsum materials with polyfractional mineral additives]* [UkrDUZT].

13. Novosad, P. V., Sanytskyi, M. A., & Pozniak, O. R. (2018). Pidvyshchennia vodostiikosti hipsovykh viazhuchykh [Improving the water resistance of gypsum binders]. *Visnyk NU «Lvivska politekhnika». Seriia: Teoriia i praktyka budivnytstva – Journal of Lviv Polytechnic National University. Series: Theory and Practice of Construction*, (888), 111–116.

14. Montgomery, D. C. (2019). *Design and Analysis of Experiments*, 10th Ed. Wiley.

15. Kersh, V. Ia., Foshch, A. V., & Kolesnikov, A. V. (2017). Opysanye vodostoikosty hypsosoderzhashchykh kompozytsyi s pomoshchiu kombynyrovannoho kryteriia [A description of the water resistance of gypsum-based compositions using a combined criterion]. *Zbirnyk nauk. prats UDUZT. Kharkiv: UDUZT - Collection of Academic Papers of the Ukrainian State University of Railway Transport, 68*, 133–139.

16. DSTU EN ISO 12572:202X. Hihrotermichni kharakterystyky budivelnykh materialiv ta vyrobiv. Vyznachennia vlastyvostei propuskannia vodianoi pary. Chashkovyi metod. DP «UkrNDNTs», 202Kh.

17. Kersh, V. Ia., Tykhoniuk, S. A. (2024). Paropronyknist yak kryterii vyboru shtukaturnoi sumishi dlia stin iz vapniaku-cherepashnyka [Vapor permeability as a criterion for choosing a stucco mixture for walls made of limestone-shell rock]. *Nauk.-tekhn. zbirnyk «Prostorovyi rozvytok» – Scientific and technical collection "Spatial development"* (pp. 326-337).

18. DSTU 9191:2022. *Teploizoliatsiia budivel. Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel [Thermal insulation of buildings. Methods for selecting thermal insulation materials for building insulation].* (2023). DP «UkrNDNTs».

19. Kersh V., Levytskyi D., Tihoniuk S., & Foshch A. (2024). Adhesive ability of gypsum-containing plaster compositions. *Suchasne budivnytstvo ta arkhitektura. Nauk.-tekhn. zbirnyk. Odesa Modern construction and architecture – Modern construction and architecture,* 9, 55–61.

Дата першого надходження статті до видання: 02.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026

UDC 691.55:699.88

Volodymyr Kersh[1], Volodymyr Batsuev[2], Tetiana Lyashenko[3], Mykola Khlytsov[4]

[1]PhD in Technical Sciences, professor of the Department of Urban Construction and Economy,
Odessa State Academy of Construction and Architecture (Odesa, Ukraine)
E-mail: kersh@odaba.edu.ua. **ORCID:** https://orcid.org/0000-0001-8737-0933. **ResearcherID:** LGZ-1769-2024

[2]PhD student of the Department of Urban Construction and Economy,
Odessa State Academy of Construction and Architecture (Odesa, Ukraine)
E-mail: 924v.batsuiev@odaba.edu.ua. **ORCID:** https://orcid.org/:0009-0007-7276-2185. **ResearcherID:** PVE-4973-2026

[3]Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Processes and Apparatus in Building Materials Technology
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odessa, Ukraine)
E-mail: lyashenko@odaba.edu.ua. **ORCID:** https://orcid.org/0000-0002-6232-4866. **ResearcherID:** PVE-2402-2026

[4]PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Processes and Apparatus in Building Materials Technology
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odessa, Ukraine)
E-mail: khlytsov@odaba.edu.ua. **ResearcherID:** PVE-2229-2026

GYPSUM-CEMENT-ASH COMPOSITIONS FOR THE RESTORATION OF FACADES ON HISTORIC BUILDINGS

The historical architectural landscape of Southern Ukraine, particularly in the city of Odesa, is primarily defined by the use of local natural limestone, commonly known as shell limestone. The recent inclusion of Odesa's historical center into the UNESCO World Heritage List has significantly elevated the technical requirements and responsibility for the restoration and conservation of these structures. A critical challenge in maintaining these buildings is the degradation of the shell rock's structural integrity due to moisture-related strength loss. Standard repair practices often involve the application of conventional cement-sand mortars, which frequently lead to the accelerated deterioration of the original masonry. This failure is caused by physical incompatibility—specifically, the lower vapor permeability and higher stiffness of cement-based plasters, which obstruct the natural moisture exchange of the limestone walls.

This study presents a comprehensive investigation of gypsum-cement-ash (GCA) compositions specifically engineered for the renovation of shell limestone facades. GCA systems are considered highly promising due to their rapid hardening, low thermal conductivity, and cost-effectiveness compared to imported alternatives. The research followed a three-stage strategy: establishing a base binder composition, enhancing the mixture with chemical modifiers, and further improvement with mineral additives. The established base composition consists of 50% gypsum, 30% cement, and 20% fly ash. To ensure vapor permeability compatibility, GCA mixtures were developed that demonstrate values of 0.08–0.09 mg/(m·h·Pa), which aligns closely with the 0.07 mg/(m·h·Pa) measured in aged historical shell rock samples.

The experimental phase utilized a three-factor Box design to evaluate the impact of a plasticizer (0–0.6%), a hydrophobizer (0–1.0% by mass), and polypropylene fiber (0–1.0 g/l) on the material's strength. Testing was conducted in three moisture states: dry, equilibrium, and water-saturated. Results indicate that the plasticizer is the dominant factor for strength development across all moisture conditions. Polypropylene fibers were found to increase strength by 1.35–1.50 times while significantly reducing moisture-induced deformations from 0.7% to 0.4–0.5%. The hydrophobizing agent showed a dual effect: while it preserved strength during saturation by limiting capillary suction, it tended to decrease compressive strength in dry conditions when used at high dosages without sufficient plasticization. The study concludes with a mathematical model that allows for the adjustment of modifier dosages depending on specific operational environments.

Keywords: *shell limestone; gypsum-cement-ash mixture; experiment design; water resistance; compressive strength; vapor permeability; adhesion; moisture deformation.*

Fig.: 5. Table: 3. References: 19.

Керш В. Я., Бацуєв В. В., Ляшенко Т. В., Хлицов М. В. Гіпсоцементно-зольні композиції для відновлення фасадів історичних будівель. *Технічні науки та технології*, 2026. № 2(44). С. 525-535. DOI: https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2(44)-525-535.