

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.326-337

УДК 691.335

к.т.н., професор **Керш В.Я.**,

vkersh@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-6085-5260,

**Тихонюк С.А.**, tihoniuk1984@gmail.com, ORCID: 0009-0009-9444-3905,

Одеська державна академія будівництва та архітектури

## **ПАРОПРОНИКНІСТЬ ЯК КРИТЕРІЙ ВИБОРУ ШТУКАТУРНОЇ СУМІШІ ДЛЯ СТІН ІЗ ВАПНЯКУ-ЧЕРЕПАШНИКА**

*Розглядаються причини деградації несучих конструкцій та обвалення будівель з вапняку-черепашника, основною з яких є зволоженість матеріалу внаслідок пошкодження штукатурного шару. Ремонтно-відновлювальні роботи на фасадах історичних будівель повинні виконуватися із застосуванням спеціальних штукатурних складів, властивості яких узгоджені з основним матеріалом конструкцій. Імпорتنі матеріали універсального призначення не враховують особливості вапнякових матеріалів. Важливий аспект створення вітчизняних штукатурних складів для ремонту стін історичних будівель з вапняку-черепашника пов'язаний із забезпеченням узгодженості паропропускної здатності штукатурки та матеріалу основної стіни; саме неузгодженість матеріалів за паропроникністю є причиною відшарування штукатурки на цементній основі від вапнякової поверхні. Для обґрунтованого проектування складу штукатурної суміші спеціального призначення необхідна об'єктивна інформація про паропроникність взаємодіючих конструктивних шарів. На основі аналізу досліджень і публікацій визначено чинники, що впливають на перенесення водяної пари в матеріалах. Методом визначення паропроникності черепашника та золгінсоцементної штукатурної суміші обрано метод «сухої» чашки з розміщенням у ній вологопоглинача. Виходячи з вимоги встановлення стаціонарного дифузійного потоку пари в досліджуваному зразку та з урахуванням насичення вологопоглинача, визначено оптимальні, з точки зору тривалості експерименту, терміни проведення вимірювань паропроникності. Експериментально визначено коефіцієнти паропроникності черепашника і розроблених ремонтних складів. Усереднений коефіцієнт паропроникності запропонованих штукатурних складів перевищує коефіцієнт паропроникності черепашника. Розрахунково-графічним методом показано, що при використанні золгінсоцементних складів імовірність утворення конденсату в товщі вапнякової стіни відсутня.*

*Ключові слова: вапняк-черепашник; штукатурна суміш; золгінсоцементне в'язуче; водяна пара; паропроникність; конденсатоутворення*

**Постановка проблеми.** Більшість старих будівель у населених пунктах Південного ареалу України зведено з місцевого природного каменю вапняку-черепашнику. Екологічно чистий, недорогий будівельний матеріал має досить хороші технічні та експлуатаційні властивості - міцнісні, тепло- і шумозахисні [1]. Але недоліком цього матеріалу є суттєва втрата міцності при його зволоженні, що призводить до зниження несучої здатності конструкції. Руйнування будівель з вапняку почастишали останнім часом, що, як правило, 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 із черепашнику звичайними цементно-піщаними сумішами призводять до прискорення руйнування конструкцій через низку причин: хімічна несумісність матеріалів; більша, порівняно з основним шаром, міцність штукатурки; різні деформативні властивості та, нарешті, менша паропроникність штукатурного шару, який є перешкодою на шляху виходу пари з конструкції [2].

Тому актуальним завданням є розробка недорогих вітчизняних штукатурних матеріалів, які здатні конкурувати із зарубіжними реставраційними складами. Технічні вимоги до розроблюваної ремонтної композиції, що розробляється, можуть бути сформульовані так: штукатурна суміш має бути хімічно сумісною з матеріалом вапняку-черепашнику, мати прискорене твердіння, підвищену водостійкість, хорошу адгезію, узгоджену з основним матеріалом міцність і паропроникність. З поширених у будівельній практиці в'язучих хімічно сумісними з вапняком-черепашником є вапно і гіпс. Але вапняно-піщані суміші тверднуть тривалий час, у процесі нанесення потребують захисту від атмосферних опадів, замерзання, пересушування, тому їхнє використання для ремонтних робіт на фасадах будівель є проблемним.

З погляду відповідності перерахованим вище вимогам, кращим в'язучим для ремонтної суміші є гіпс, причому низькомарочний, як більш дешевий. Оскільки гіпс у чистому вигляді для зовнішніх робіт не застосовують через низьку водостійкість, то за основу ремонтної композиції, яку розробляють, прийнято гіпсоцементно-пуцоланове в'язуче [3] з використанням золи як пуцоланової добавки (далі - ЗГЦВ). Проведені дослідження підтвердили достатню водостійкість пропонованих складів з можливістю її подальшого підвищення [4]. Одним із найважливіших критеріїв вибору штукатурної суміші для стін із вапняку-черепашнику слід вважати паропроникність штукатурного шару та узгодженість за цим параметром з основним матеріалом стіни. Крім

очевидної проблеми з порушенням цілісності штукатурки і подальшим відшаруванням у разі недостатньої її паропроникності, супутньою проблемою може бути надмірне накопичення вологи в черепашнику з погіршенням теплозахисних властивостей стіни і зниженням її міцності.

Ухвалення правильних рішень про склад штукатурної суміші для ремонту будівель з черепашнику можливе тільки на основі об'єктивної інформації про переносні властивості взаємодіючих конструктивних шарів. Розрахунково-графічні методи дають змогу визначити наявність і величину зони конденсації в багатошаровій конструкції стіни, однак для отримання достовірних результатів треба мати у своєму розпорядженні точну інформацію про теплофізичні характеристики матеріалів; знання наближених табличних значень у цьому разі недостатньо. Ця умова особливо актуальна під час розв'язання задач із підбору штукатурних складів для стін історичних будівель, побудованих із вапняків різного походження, інформація про паропроникність яких відсутня. Априорна інформація про переносні властивості новостворюваних багатокомпонентних штукатурних складів також відсутня. Отже, виникла необхідність вибору методу вимірювання паропроникності будівельних матеріалів, який має бути достатньо точним і водночас достатньо швидким для того, щоб забезпечити високу продуктивність експериментів.

**Мета публікації** - обґрунтувати вибір швидкого і точного методу визначення паропроникності та, на підставі виконаних вимірів, оцінити можливість застосування пропонованих складів для оштукатурювання стін будівель з вапняку-черепашнику.

**Аналіз досліджень та публікацій по темі дослідження.** Перенесення водяної пари в матеріалах огорожувальних конструкцій відбувається у вигляді дифузійного потоку, рушійною силою якого є парціальний тиск пари по обидва боки конструкції. У холодну пору року огорожувальні конструкції опалювальних будівель розділяють два повітряні середовища з різними значеннями парціального тиску водяної пари, причому тиск пари всередині приміщення в холодну пору року завжди вищий за парціальний тиск ззовні. Подібне явище викликає потік водяної пари від внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції до зовнішньої. Характеристикою здатності матеріалу переносити пароподібну вологу є коефіцієнт паропроникності, який показує, яка кількість водяної пари може пройти за одиницю часу через одиницю площі матеріалу за градієнта парціального тиску водяної пари, що дорівнює одиниці. На значення коефіцієнта паропроникності впливають такі чинники:

- пористість (або щільність) матеріалу,
- вологість матеріалу,
- температура,

– товщина шару.

Чим вища пористість матеріалу, тим краще він пропускає водяну пару. Підвищення вологості та зниження температури зменшують значення коефіцієнта. Зі збільшенням товщини шару паропроникність знижується [5]. Коефіцієнт паропроникності є важливою характеристикою будівельних матеріалів, що впливає на довговічність конструкцій. Для низки відомих матеріалів значення коефіцієнта можна знайти в довідковій літературі, проте для новостворюваних матеріалів паропроникність необхідно визначати експериментально. Під час проектування штукатурного складу для стін із черепашнику необхідно забезпечити узгодженість показників паропроникності різних шарів огороджувальних конструкцій з метою виключення накопичення вологи всередині них. Якщо виміряне значення коефіцієнта паропроникності матеріалу виявляється нижчим від необхідного, його можна підвищити різними способами:

- зниження щільності матеріалу введенням добавок, що поризують,
- використання більш грубих фракцій заповнювача,
- введення волокнистих армуючих добавок.

Роль дифузії та конденсації водяної пари в огороджувальних конструкціях у створенні вологісного стану, методи визначення зони конденсації, розрахунок паропроникності матеріалів огороджувальної конструкції розглядаються в роботах [6-10]. Важливим аспектам закономірностей паропроникності присвятили свої публікації зарубіжні дослідники [11-13]. Зокрема, Rogers T. [14] вніс одну з раціональних пропозицій: під час проектування конструкції: окремі шари в багатошарових конструкціях слід розташовувати так, щоб паропроникність зростала від внутрішньої сторони до зовнішньої, причому будівля буде експлуатуватися довше, якщо паропроникність зовнішнього шару щонайменше у 5 разів буде більшою за паропроникність внутрішнього шару. Водяна пара в багатошаровій конструкції огорожі транспортується через усі шари стіни, які зазвичай розглядаються як такі, що перебувають в ідеальному гідравлічному контакті, без урахування впливу кордону розділу на перенесення вологи. Характеристики безперервності між шарами були введені Де Фрейтасом. Він розрізняв три типи контактних конфігурацій [15-16]: □ "гідравлічний контакт" - відбувається взаємопроникнення структури обох шарів; □ "природний контакт" - контакт відбувається без взаємопроникнення структури шарів; □ "повітряний простір між шарами" - є повітряна кишенька шириною кілька міліметрів.

Гідравлічний контакт зазвичай є ідеальним дотиком шарів, за якого капілярний тиск або тиск пари на контактних поверхнях обох матеріалів

еквівалентні. Саме цей тип контакту між шарами має місце в штукатурних системах, що дещо спрощує розрахунки вологості.

*Матеріали.* Досліджуваними матеріалами є штукатурна суміш на золотіпсоцементному в'язучому, що являє собою трикомпонентну композицію, дослідні зразки якої виготовлено в планованому експерименті, а також зразки вапняку-черепашнику, відібрані з блоків стін будинків, які ремонтуються.

*Методи визначення.* Паропроникність матеріалів визначається модернізованим методом "сухої" чашки відповідно до ДСТУ EN ISO 12572:202x (проект, остаточна редакція).

**Основна частина.** Існує кілька лабораторних методів для визначення коефіцієнта паропроникності, найпоширенішими є метод "микрої" і метод "сухої" чашки, які відрізняються організацією напрямку потоку пари через зразок матеріалу. Загальний принцип методів полягає у створенні стаціонарного потоку водяної пари через досліджуваний зразок і визначенні інтенсивності цього потоку. Під час проведення випробувань створюється різниця парціальних тисків водяної пари по різні боки зразка, після чого фіксується кількість пари, що пройшла. На підставі отриманих даних обчислюють коефіцієнт паропроникності. Метод "микрої" чашки, з розміщенням у випробувальній чашці води, застосовується для дослідження матеріалів з високою паропроникністю. Метод "сухої" чашки передбачає розміщення в ній вологопоглинача.

У європейських країнах визначення показників паропроникності будівельних матеріалів виконують відповідно до норм EN ISO 12572:2016 [17]; у США застосовують стандарт ASTM E96-2016 [18]. Випробування матеріалів на паропроникність в Україні можна проводити відповідно до ДСТУ [19, 20], якими передбачено використання методу "сухої" чашки. Цей метод застосовано в цьому дослідженні, однак, замість термошафи, контрольованим середовищем є ексикатор. Процедура випробування полягає в такому. Зразки у вигляді круглих пластин завтовшки 10 мм фіксують у шийках непроникних чашок, які містять вологопоглинач (зневоднений силікагель), і герметизують за допомогою пластиліну. Відстань від нижньої поверхні зразків до поверхні силікагелю - 10 мм. Чашки зі зразками поміщають у контрольоване середовище - герметично закритий ексикатор із постійною температурою  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  (забезпечується підтримкою температури в лабораторії) та вологістю 100% за рахунок часткового заповнення водою (рис.1).

В ексикаторі розміщуються 3-5 (залежно від розмірів ексикатора) випробувальних чашок зі зразками. Приріст маси вологи в чашках визначається в результаті щодобових зважувань на електронних вагах з точністю 0,01 г. Тривалість експерименту визначається необхідністю виходу процесу

перенесення пари в стаціонарний режим. Щільність потоку водяної пари стабілізується, коли кожне з трьох послідовних визначень змін маси відрізняється від попереднього не більше, ніж на 2%.

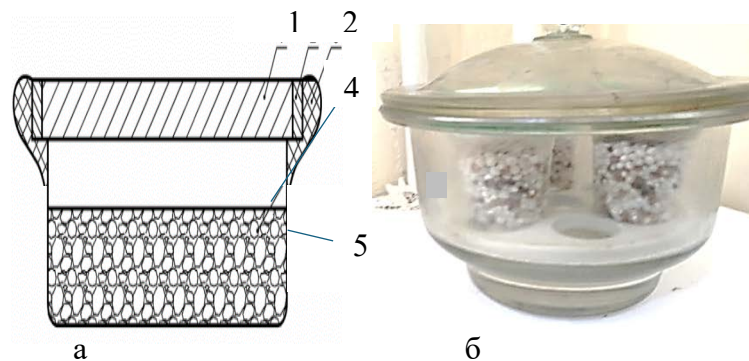


Рис. 1. Метод "сухої" чашки: а) випробувальна чашка: 1 - досліджуваний зразок, 2 - шаблон (якщо необхідно), 3 - герметик, 4 - вологопоглинач (силікагель), 5 - випробувальна чашка; б) ексикатор з випробувальними чашками.

Під час відпрацювання лабораторної методики особлива увага приділялася визначенню мінімально можливої (без втрати точності результатів) тривалості дослідів з метою підвищення продуктивності експерименту, що є необхідним під час вимірювань великої кількості зразків в умовах дефіциту часу. Оцінку мінімально необхідної тривалості вимірювань проводили на зразках безпресового (ПСБ) і екструзійного (ЕППС) пінополістиролу, а також вапняку. Зміну паропроникності зразків у часі показано на рис. 2.

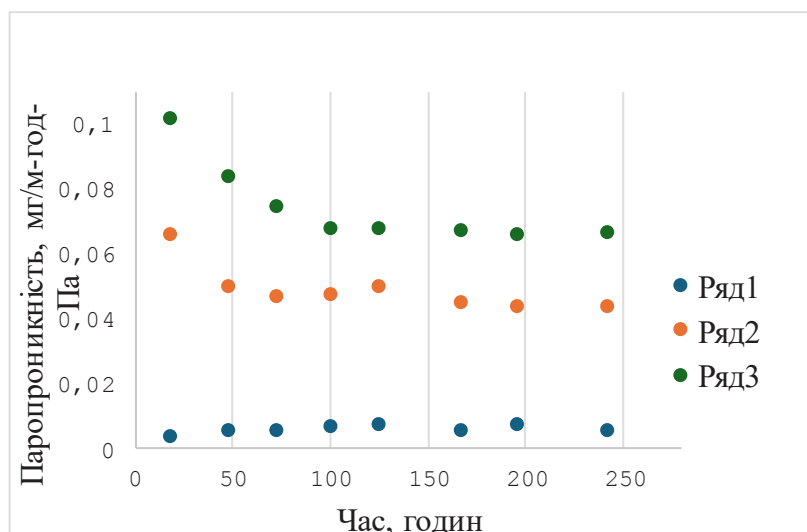


Рис.2. Оцінка часу виходу процесу паропереноса в зразках у стаціонарний режим: (нижній ряд 1 - ЕППС, ряд 2 - ПСБ, ряд 3 - вапняк.).

Аналізуючи характер зміни паропроникності, розрахованої через приріст маси за відповідний проміжок часу, різних за складом і структурою матеріалів,

можна помітити, що стабілізація вимірюваної характеристики настає швидше у менш паропровідних матеріалів. Так паропроникність екструзійного пінополістиролу стабілізується вже за добу з моменту встановлення чашок зі зразками в ексикатор, паропроникність суспензійного пінополістиролу - за 3 доби. Для більш паропроникного вапняку-черепашнику встановлено, що щільність потоку водяної пари стабілізується в проміжку між 4-ю і 8-ма добою від початку встановлення чашок зі зразками в ексикатор, причому після 8 діб процес помітно сповільнюється, що пояснюється насиченням вологою силікагелю у випробувальній чашці. Таким чином, для зразків вапняку і складів, що розробляються, ухвалено рішення визначати паропроникність на підставі 4-х вимірів приросту вологи з 4-ої до 7-ї доби з моменту встановлення випробувальних чашок в ексикатор. Розрахунки значень паропроникності проводилися відповідно до ДСТУ EN ISO 12572.

Визначено характеристики перенесення водяної пари у зразках вапняку-черепашнику, відібраних із 3-х реальних будівель історичного центру м. Одеси, і зразках затверділої ЗГЦВ суміші, виготовлених у планованому експерименті. Усереднений коефіцієнт паропроникності зразків черепашнику, розрахований за результатами вимірювань, дорівнює  $0,07 \text{ мг/м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па}$ , паропроникність запропонованих нами складів коливається в межах  $0,08 \div 0,09 \text{ мг/м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па}$ . Подальше підвищення паропропускної здатності штукатурного складу пов'язане з підбором оптимального поєднання компонентів суміші. Перевірку ймовірності утворення конденсату в товщі стіни, поштукатуреної запропонованим ЗГЦВ складом, виконано відповідно до ДСТУ [21, 22]. Температурні умови: всередині приміщення  $+20^\circ\text{C}$ , зовні  $-10^\circ\text{C}$ . Матеріали шарів та їхню товщину показано в позначеннях до рис. 3. Розрахунки та побудову графіка (рис. 3) виконано за допомогою спеціальної програми [23].

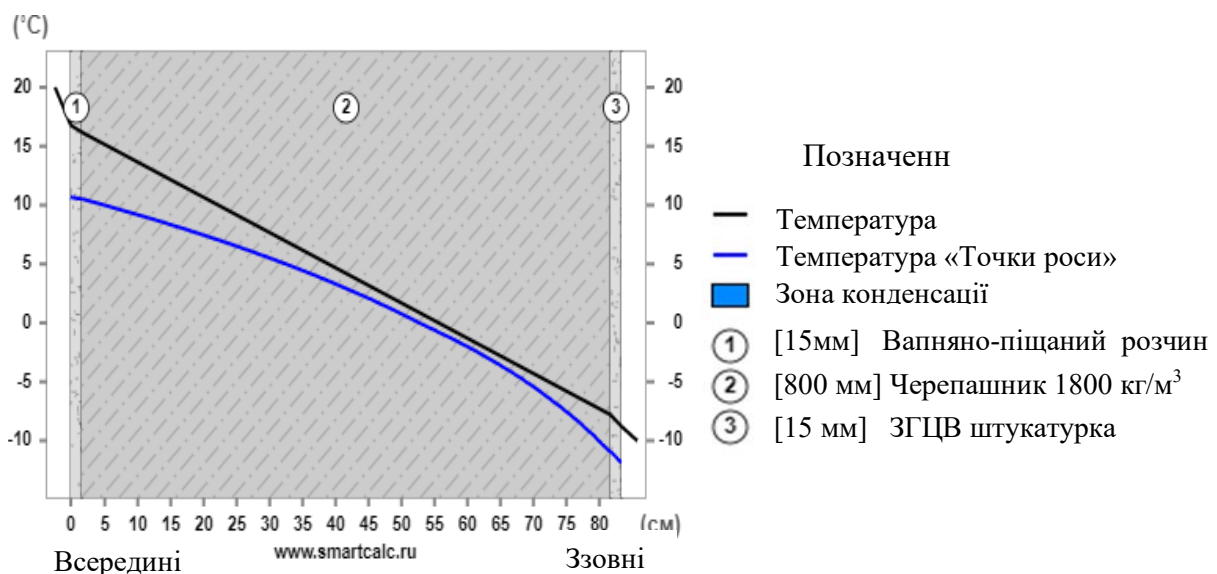


Рис. 3. Оцінка ймовірності випадання конденсату всередині конструкції

На графіку лінії розподілу температури всередині конструкції і температури "точки роси" не перетинаються, тобто, при нанесенні запропонованої штукатурної композиції на стіну будинку з черепашнику, конденсат всередині стіни утворюватися не буде.

### **Висновки та рекомендації.**

1. Виконано перевірку узгодженості паропропускної здатності запропонованої штукатурної суміші на основі ЗГЦ в'язучого і матеріалу основної стіни - вапняку-черепашнику.
2. Для визначення паропроникності прийнято метод "сухої" чашки, і експериментально встановлено оптимальні, з погляду точності та швидкості вимірювань, умови їх проведення.
3. Визначено коефіцієнти паропроникності черепашнику і дослідних штукатурних складів.
4. Розрахунково-графічним методом доведено, що в оштукатуреній запропонованим складом стіні з черепашнику конденсат утворюватися не буде.
5. Подальше підвищення паропроникності штукатурки можливе за рахунок оптимізації складу суміші, зокрема введення пористих наповнювачів, фібри і хімічних добавок.

### **Список літератури**

1. Матеріал із глибини століть – черепашник URL: <https://lelikzvena.livejournal.com/116186.html> (дата звернення: 15.08.2024).
2. V. Kersh, D. Levytskyi, S. Tykhoniuk. Repair mixture for limestone-shell buildings. Збірник тез V Міжн. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми енергоресурсозбереження та екології». ОДАБА, Одеса, 13-14 грудня 2023 р., с. 76-78.
3. Ферронская А.В. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): Справочник. М: Изд.-во АСВ, 2004. 484 с.
4. Керш В.Я., Левицький Д.В., Тихонюк С.А., Фощ А.В. Підвищення водостійкості штукатурної суміші на основі гіпсовміщуючого в'язучого. Наук.-техн. збірник «Містобудування та територіальне планування». Вип. № 86. – Київ: КНУБА, 2024. – С. 300-313.
5. Коэффициент паропроницаемости материалов: расчет и показатели - URL: <https://fb.ru/article/485512/2023.html> (дата звернення: 22.08.2024).
6. Фокин К.Ф. Расчет влажностного режима наружных ограждений. М.: Главная редакция строительной литературы. 1935. 173 с.
7. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1981. – 415 с.



8. Куприянов В.Н., Петров А.С. Паропроницаемость материалов в условиях, приближенных к эксплуатационным // Известия КГАСУ. 2013. № 2(24). С.126-131.
9. Перехоженцев А.Г. Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСУ. 2008. 212с.
10. Вытчиков Ю.С. Определение плоскости конденсации для многослойных ограждающих конструкций// Строительные материалы. 2006. № 4. С. 92-94.
11. "Heat, Air, Moisture Control in Building Assemblies - Material Properties," in ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc, 2009, p. Chapter 26
12. S. Chang and N. Hutcheon, "Dependence of Water Vapor Permeability on Temperature and Humidity," Transactions American Society of Heating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), vol. 62, no. 1581, pp. 437-449, 1956.
13. V. Valvovita, "Water Vapor Permeability and Thermal Conductivity as a function of Temperature and Relative Humidity," ASHRAE, 2004
14. Роджерс Т.С. Проектирование тепловой защиты зданий. Пер с англ. М.: СИ, 1966. 228с.
15. Delgado, J.M.P.Q., de Freitas, V.P. & Guimarães, A.S. Water movement in building walls: interfaces influence on the moisture flux. Heat Mass Transfer 52, 2415–2422 (2016).
16. De Freitas, V.P., Abrantes, V. and Crausse, P. Moisture Migration in Building Walls– Analysis of the Interface Phenomena. Building and Environment, 1996, 31(2), p. 99–108.
17. EN ISO 12572:2016 Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapor transmission properties - Cup method
18. ASTM E96-2016 Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials (USA)
19. ДСТУ Б В.2.7-253:2011 (ГОСТ 25898–83, MOD) Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропроницанию. [Чинний від 2012-12-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2012.
20. ДСТУ EN ISO 12572:202X (EN ISO 12572:2016, IDT; ISO 12572:2016, IDT) Гігротермічні характеристики будівельних матеріалів та виробів. Визначення властивостей пропускання водяної пари (паропроницності). Чашковий метод. (проект, остаточна редакція). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 20XX

21. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2014.

22. ДСТУ EN ISO 13788:2022 (EN ISO 13788:2012, IDT; ISO 13788:2012, IDT). Гіротермічні показники будівельних конструкцій та будівельних елементів. Методи розрахунку тепловологісного стану, оцінки критичної поверхневої вологості та конденсації. [Чинний від 01,06,2023]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.

23. Теплотехнический калькулятор: расчет утепления и точки росы URL: <https://www.smartcalc.ru/thermocalc.html> (дата звернення: 10.09.2024).

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

## VAPOR PERMEABILITY AS A CRITERION FOR CHOOSING A PLASTER MIXTURE FOR LIMESTONE-SHELL WALLS

The reasons for the degradation of load-bearing structures and the collapse of buildings made of limestone-shell rock are considered, the main of which is the moisture content of the material due to damage to the plaster layer. Repair and restoration work on the facades of historic buildings should be carried out using special plaster compositions whose properties are consistent with the main material of the structures. Imported general-purpose materials do not take into account the characteristics of limestone materials. An important aspect of creating domestic plaster compositions for repairing the walls of historic limestone-shell rock buildings is to ensure that the vapor permeability of the plaster and the material of the main wall are consistent; it is the mismatch of materials in terms of vapor permeability that causes the cement-based plaster to delaminate from the limestone surface. For a reasonable design of the composition of a special-purpose plaster mixture, objective information about the vapor permeability of the interacting structural layers is required. Based on the analysis of research and publications, the factors that affect the transfer of water vapor in materials are identified. The method of determining the vapor permeability of shell rock and ashlar-cement plaster mixture is the "dry" cup method with the placement of a desiccant in it. Based on the requirement to establish a steady-state diffusion flow of steam in the test sample and taking into account the saturation of the desiccant, the optimal time for conducting vapor permeability measurements was determined in terms of the duration of the experiment. The vapor permeability coefficients of shell rock and the developed repair compositions were

experimentally determined. The average vapor permeability coefficient of the proposed plaster compositions exceeds the vapor permeability coefficient of shell rock. The calculation and graphical method shows that when using ash and gypsum cement compositions, there is no probability of condensation in the thickness of the limestone wall.

Keywords: limestone-shell rock; plaster mixture; ash gypsum cement binder; water vapor; vapor permeability; condensation

## REFERENCES

1. Material iz hlybyny stolit – cherepashnyk URL: <https://lelikzvena.livejournal.com/116186.html> (data zvernennia: 15.08.2024). {in Russian}
2. V. Kersh, D. Levytskyi, S. Tykhoniuk. Repair mixture for limestone-shell buildings. Zbirnyk tez V Mizhn. nauk.-tekhn. konf. «Aktualni problemy enerhoresursozberzhennia ta ekolohii». ODABA, Odesa, 13-14 hrudnia 2023 p., s. 76-78. {in Ukrainian}
3. Ferronskaia A.V. Hypsovyie materyaly i yzdelyia (proyzvodstvo i pryomenenye): Spravochnyk. M: Yzd.-vo ASV, 2004. 484 s. {in Russian}
4. Kersh V.Ia., Levytskyi D.V., Tykhoniuk S.A., Foshch A.V. Pidvyshchennia vodostiikosti shtukaturnoi sumishi na osnovi hipsovmishchuiuchoho viazhuchoho. Nauk.-tekhn. zbirnyk «Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia». Vyp. № 86. – Kyiv: KNUBA, 2024. – S. 300-313. {in English}
5. Koeffytsyent paropronytsaemosty materyalov: raschet y pokazately - URL: <https://fb.ru/article/485512/2023.html> (data zvernennia: 22.08.2024). {in Russian}
6. Fokyn K.F. Raschet vlazhnostnoho rezhyma naruzhnykh ohrazhdenyi. M.: Hlavnaia redaktsiia stroytelnoi lyteratury. 1935. 173 s. {in Russian}
7. Bohoslovskiy V.N. Stroytelnaia teplofyzika. – M.: Vysshaia shkola, 1981. – 415 s. {in Russian}
8. Kupryianov V.N., Petrov A.S. Paropronytsaemost materyalov v usloviakh, pryblyzhennykh k ekspluatatsyonnym // Yzvestiia KHASU. 2013. № 2(24). S.126-131. {in Russian}
9. Perekhozhentsev A.H. Teoretycheskiye osnovy y metody rascheta temperaturno-vlazhnostnoho rezhyma ohrazhdaiushchykh konstruktsyi zdanyi. Volhohrad: VolhHASU. 2008. 212s. {in Russian}
10. Vytchykov Yu.S. Opredelenye ploskosty kondensatsyy dlia mnohosloinykh ohrazhdaiushchykh konstruktsyi// Stroytelnye materyaly. 2006. № 4. S. 92-94. {in Russian}
11. "Heat, Air, Moisture Control in Building Assemblies - Material Properties," in ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating

and Air Conditioning Engineers Inc, 2009, p. Chapter 26. {in English}

12. S. Chang and N. Hutcheon, "Dependence of Water Vapor Permeability on Temperature and Humidity," Transactions American Society of Heating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), vol. 62, no. 1581, pp. 437-449, 1956. {in English}

13. V. Valvorita, "Water Vapor Permeability and Thermal Conductivity as a function of Temperature and Relative Humidity," ASHRAE, 2004. . {in English}

14. Rodzhers T.S. Proektyrovanye teplovoi zashchyty zdanyi. Per s anhl. M.: SY, 1966. 228 s. {in English}

15. Delgado, J.M.P.Q., de Freitas, V.P. & Guimarães, A.S. Water movement in building walls: interfaces influence on the moisture flux. Heat Mass Transfer 52, 2415–2422 (2016). {in English}

16. De Freitas, V.P., Abrantes, V. and Crausse, P. Moisture Migration in Building Walls – Analysis of the Interface Phenomena. Building and Environment, 1996, 31(2), p. 99–108. {in English}

17. EN ISO 12572:2016 Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapor transmission properties - Cup method . {in English}

18. ASTM E96-2016 Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials (USA). {in English}

19. DSTU B V.2.7-253:2011 (HOST 25898–83, MOD) Матеріали у виробництві будівельних конструкцій. Методи визначення опірності паропропусканню. [Чинний від 2012-12-01]. Київ: Міністерство будівництва України, 2012. {in Ukrainian}

20. DSTU EN ISO 12572:202kh (EN ISO 12572:2016, IDT; ISO 12572:2016, IDT) Гігроtermічні характеристики будівельних матеріалів та виробів. Визначення властивостей пропускання водяної пари (паропропусканості). Чашковий метод. (проект, остаточної редакції). Київ: ДП «УкрNDNTs», 20XX. {in Ukrainian}

21. DSTU-N B V.2.6-192:2013 Настапова з розрахункової отсинки тепловолісного стану опороджувальних конструкцій. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Міністерство будівництва України, 2014. {in Ukrainian}

22. DSTU EN ISO 13788:2022 (EN ISO 13788:2012, IDT; ISO 13788:2012, IDT). Гігроtermічні показники будівельних конструкцій та будівельних елементів. Методи розрахунку тепловолісного стану, отсинки крижаної поверхневої вологості та конденсації. [Чинний від 01,06,2023]. Київ: ДП «УкрNDNTs», 2022. {in Ukrainian}

23. Теплотехнічний калькулятор: розрахунок опілення у точці роси URL: <https://www.smartcalc.ru/thermocalc.html> (дата звернення: 10.09.2024). {in Russian}