

В результаті проробленої роботи ми отримали досить детальну модель церкви Святого Миколая (Рис. 5). Ця модель також була використана для розробки низько-полігональної моделі церкви для 3D-друку. Доповнивши цю модель результатами роботи лазерним сканером як екстер'єру, так і інтер'єру, а також фотограмметрією інтер'єру ми отримали високоточну текстуровану модель церкви, з якої можна робити плани, розрізи та розгортки.

Поєднання традиційних та сучасних методів фіксації дає багато переваг та пришвидшує роботу над фіксацією об'єкта.

## **ЕКОЛОГІЧНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ З ЧЕРЕПАШНИКУ**

**Семенова С.В., к.т.н, доцент, Колесников А.В., к.т.н., доцент,  
Левіцький Д.В., аспірант**  
(Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Пам'ятки архітектури такі, як історичні будівлі є невід'ємною частиною світової культурної спадщини. Вони передають стилі різних епох і несуть у собі багатовікову автентичну цінність місцевих громад і регіонів. Будинки, палаци, церкви та фортеці, що зведені з каменю вапняку - черепашника, стали символами цілих міст і культур. Прикладом є занесені до списку світової спадщини ЮНЕСКО найвідоміші у світі Мальтійські храми (Globigerinalimestone). Ці споруди є не лише унікальними археологічними пам'ятками, а й свідченням розвитку будівельних технологій тисячолітньої давнини. У регіоні Бретань на північному заході Франції використання цього матеріалу у середньовічний період було поширене для зведення як житлових будинків, так і церков та замків. А венеціанці застосовували його при вимазці декоративних фасадів через його легкість і пористість, що підходило для середземноморського клімату. Більшість будівель та визначних архітектурних об'єктів ХІХ століття Одеси складено з цього екологічно чистого місцевовидобувного матеріалу, вони формують не тільки зовнішній вигляд міста, але й становлять та уособлюють його характерну рису міської архітектури. Актуальність питання щодо збереження історичних будівель з черепашнику в місті Одеса сьогодні зумовлена ще й необхідністю відбудови після пошкодження внаслідок військових дій, що є пріоритетним напрямом для нашої держави.

Історичні будівлі з черепашнику потребують спеціальних підходів під час реставрації та відновлення. Ці роботи виконуються будівельними матеріалами, які задовільняють вимоги загальнобудівельних норм та технічних умов, так і спеціальні вимоги щодо завдання на реставраційні роботи [1].

Потужними перевагами цього природного будівельного матеріалу є доступність, простота обробки, привабливі декоративні властивості та екологічність. Однак матеріал має певні слабкі сторони, а саме - він досить пористий і здатний «дихати», тобто піддається впливу вологи, забруднення і кліматичних факторів, що призводить до потреби ремонту, реставрації та відновлення.

За для усунення цих слабких сторін важливо використовувати розчини з високою паропроникністю.

Будівельні розчини, що використовуються для ремонтних та реставраційних робіт будівель з черепашнику, повинні мати низку специфічних властивостей[2], щоб зберегти як естетичні, так і функціональні характеристики будівель та забезпечити екологічну стійкість. Розчинидля реставрації будівель з черепашнику, повинні бути сумісними з природним каменем за своїми фізичними та хімічними властивостями[3]. Нижче представлені основні них.

Сумісність з черепашником. Розчин повинен бути хімічно сумісний з черепашником, щоб не викликати руйнування каменю через невідповідність складу. Вапняні розчини традиційно вважаються найкращими для роботи з черепашником.

Паропроникність. Як і сам черепашник, розчин повинен бути достатньо паропроникним, щоб уникнути накопичення вологи всередині конструкції. Це запобігає утворенню цвілі та грибка.

Механічна міцність. Міцність розчину повинна бути порівнянна з міцністю черепашника, щоб уникнути тріщиноутворення або руйнування як каменю, так і швів у процесі експлуатації будівлі.

Пластичність і зручність укладання. Розчин повинен легко наноситися і мати гарну адгезію до черепашника, щоб забезпечити надійне зчеплення між камінням і закрити тріщини або шви.

Стійкість до кліматичних умов. Розчини для реставраційних робіт мають бути стійкими до впливу атмосферних факторів (мороз, опади, сонячне випромінювання) для довгострокового захисту конструкції.

Екологічність. Для збереження історичної автентичності важливо використовувати екологічно чисті та натуральні матеріали, наприклад, вапняні або вапняно-глинисті склади, які використовувалися в історичній практиці.

Морозостійкість. Особливо важливо для регіонів з холодним кліматом, так як черепашник може бути схильний до руйнування при замерзанні вологи всередині каменю. Розчини мають забезпечувати захист каменю від промерзання.

Колірна сумісність. Для реставраційних робіт дуже важливо підбрати розчин, який би відповідав кольору оригінального матеріалу, щоб уникнути візуальних контрастів.

Таким чином, для ефективної реставрації будівель з черепашнику необхідно застосовувати розчини, які поєднують у собі вищенаведені властивості, забезпечуючи довговічність та збереження естетики історичних споруд.

Використання цементних розчинів, які менш екологічні і менш сумісні з черепашником, може викликати накопичення вологи всередині стін, що призводить до руйнування каменю через цикли замерзання-відтавання та солеві відкладення. Крім того, використання при реставрації та відновленні сучасних традиційних будівельних матеріалів, на основі цементу з додаванням синтетичних добавок, може призвести до забруднення навколишнього середовища через високий рівень викидів вуглецю під час їх виробництва. З точки зору мінімізації впливу на довкілля важливо обирати екологічно чисті матеріали з низьким вуглецевим слідом і мінімальним впливом на природу.

Екологічні розчини на основі натуральних матеріалів, таких як вапно, глина, трас, пісок, а також додавання до цих розчинів місцевих матеріалів (наприклад, подрібненого черепашнику та кераміки), дозволяють знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Подібні екологічні склади, які використовуються для реставрації будівель з черепашнику, не тільки сприяють збереженню будівельної спадщини, але й продовжують термін служби будівель. Завдяки природним властивостям вапна та глини, такі розчини мають самозаліковуючі властивості, тобто вони здатні заповнювати дрібні тріщини і пори, забезпечуючи тим самим захист від зовнішніх факторів.

На наш погляд, перспективним при реставрації є використання розчинів на основі природних екологічних матеріалів: вапна, глини, піску, молотого черепашнику, молотої кераміки, узятих в різних співвідношеннях в залежності від необхідних кінцевих властивостей. За необхідністю таких розчинів можна додавати цемент та синтетичні волокна для покращення технічних характеристик, а також пластифікатори для забезпечення необхідних технологічних умов.

Одним із перспективних напрямів поліпшення характеристик вапняно-піщаних складів є використання наповнювачів, що підвищують їх механічні властивості. Наприклад, додавання меленого

черепашнику покращує адгезію, вологостійкість та міцність розчину, забезпечує високу сумісність з природними вапняними матеріалами та дозволяє зберегти екологічність та високу паропроникність розчинів, що особливо важливо для реставрації історичних об'єктів, які потребують дбайливого поводження та довгострокової стійкості до впливу навколишнього середовища. Додавання до традиційних вапнякових розчинів подрібнених керамічних уламків - фрагментів керамічних матеріалів, таких як цегла, черепиця або керамічний посуд, призводить до підвищення експлуатаційних характеристик реставраційних сумішей. Вони виконують роль активної добавки, яка покращує механічні властивості та довговічність розчину. Так, як керамічні уламки є пуцоланами, вони вступають у хімічну реакцію з гідроксидом кальцію ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), утворюючи гідратовані силікати кальцію (C-S-H) та алюмінати кальцію (C-A-H), що сприяє зміцненню розчину. Крім того, додавання подрібнених керамічних уламків допомагає зменшити усадку розчину та збільшити його стійкість до вологи та вивітрювання. Це особливо важливо при реставрації зовнішніх частин історичних будівель, де потрібна підвищена довговічність. Крім того, керамічні уламки - це перероблений матеріал, який використовується повторно, що робить його застосування екологічно стійким рішенням для реставрації.

Додавання глини до традиційного складу вапнякових розчинів дозволяє покращити деякі властивості розчинів: утримання вологи, пластичність та сумісність з м'якими породами, такими, як черепашник. Хімічний склад глини варіюється в залежності від її походження, але основний компонент більшості глин це каолініт або монтморіллоніт. Типовий хімічний склад глини можна подати, як суміш оксиду кремнію ( $\text{SiO}_2$ ) та оксиду алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) з додаванням води та різних домішок, таких, як оксиди заліза, кальцію, магнію та інших елементів. Саме ці компоненти надають глині її характерні властивості - пластичність, здатність до затвердіння та міцність. Додавання глини у вапняно-піщані розчини для реставрації будівель з черепашника є обґрунтованим, це зумовлено її гідроскопічністю та здатністю затримувати вологість, проте це все потребує балансу щоб уникнути негативних наслідків, таких як надлишкове набухання та накопичення вологи.

Однією з рис композиційних матеріалів, що розглядаються, є здатність до процесів адаптації, зокрема до адаптації форми. Вона проявляється як здатність структури матеріалу перебудовуватися при контакті з рельєфними поверхнями, пристосовуючись до її геометрії. Такі властивості структури відбиваються на адгезивних властивостях та стабільному існуванні реставрованого виробу. Перебудова системи

міжчасткових зв'язків зі збереженням цілісності матеріалу передбачає досягнення стійкої рівноваги між утворенням та розривом зв'язків. Реалізація такої структурної рівноваги є одним з механізмів адаптації в процесі структуроутворення матеріалів.

Підбір складу екологічного розчину, що використовується для відновлення та ремонту історичних будівель, є завданням багатокритеріальної оптимізації, яке можна вирішити, застосовуючи методи планованого експерименту. Основна мета проведення такого експерименту - знайти таку комбінацію матеріалів, яка забезпечить найкращі властивості суміші: міцність, пластичність, адгезію та стійкість до зовнішніх впливів. Запланований експеримент з оптимізації складу на основі вапна, піску, глини, керамічних уламків та меленого черепашнику допоможе знайти оптимальні пропорції компонентів для реставраційних робіт. Варіювання ключових факторів, таких, як співвідношення вапна та глини, кількість піску, керамічних уламків та черепашнику, дозволить досягти кращого балансу між міцністю, адгезією, паропроникністю та пластичністю складу. Для прогнозування властивостей такого складу на основі експериментального плану (вапно, пісок, глина, керамічні уламки та черепашник), ми можемо припустити вплив ключових факторів на такі властивості, як міцність на стиск, адгезія, паропроникність, пластичність та усадка. Прогноз ґрунтується на відомих механізмах взаємодії матеріалів та попередніх дослідженнях аналогічних складів.

Для вирішення поставленої задачі одержання екологічного реставраційного складу з оптимальним набором властивостей запропонована схема двостадійного дослідження, перший етап якого є скринінговий експеримент, що дозволяє виділити ті компоненти з багатьох, що найбільше впливають на експлуатаційні властивості композиту. Другий етап - головне експериментально-статистичне дослідження методом поверхонь відгуку, з побудовою повного набору моделей властивостей і знаходженню оптимальних складів для різних умов застосування матеріалу.

Екологічні композиційні матеріали, що засновані на природних компонентах, таких, як вапно, глина, пісок, подрібнений черепашник, керамічні уламки, мають велике значення для відновлення історичних будівель з черепашнику. Вони забезпечують сумісність з оригінальними матеріалами, продовжують термін служби будівель і допомагають відновити архітектурну спадщину міста. Окрім цього, використання екологічних матеріалів дозволяє мінімізувати вплив на навколишнє середовище і зберегти унікальний архітектурний ландшафт для майбутніх поколінь.