

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Семенів Роксолана Михайлівна



УДК 691.421:691.535

**МОДИФІКУВАННЯ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ ТА БУДІВЕЛЬНОГО
РОЗЧИНУ ЗОВНІШНІХ СТІН БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті „Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – кандидат технічних наук
Кропивницька Тетяна Павлівна,
Національний університет „Львівська політехніка”,
доцент кафедри будівельного виробництва

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Сторчай Надія Станіславівна,
Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія будівництва
та архітектури» МОН України,
професор кафедри технології будівельних матеріалів,
виробів та конструкцій

кандидат технічних наук, доцент
Борзяк Ольга Сергіївна,
Український державний університет
залізничного транспорту МОН України,
доцент кафедри будівельних матеріалів,
конструкцій та споруд

Захист відбудеться “03” квітня 2019 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17 Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, навчальний корпус ІІ, ауд. 212.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розісланий “01” березня 2019 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.17
к.т.н., доцент



П.Ф. Холод

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з найважливіших завдань у будівництві, як в технічному, так і естетичному аспектах є підвищення довговічності зовнішніх стін будівель і споруд. У зв'язку з розвитком енергоефективного будівництва все ширше використовується конструкція багатошарової стіни з високими експлуатаційними властивостями за рахунок використання керамічної клінкерної цегли, як декоративного захисного шару. В той же час, така цегла вимагає високоякісної сировини та підвищеної температури випалу, що призводить до суттєвого збільшення її вартості. Тому, на даний час, в якості декоративного облицювання фасаду застосовується керамічна лицьова цегла. Важливою складовою цегляних конструкцій є також будівельний розчин, що з'єднує елементи цегли в кладку. При цьому пориста структура керамічної лицьової цегли та цементних мурувальних розчинів призводить в процесі експлуатації до проникнення вологи, як у поверхневі, так і у глибші шари кладки, руйнуючи її, особливо в умовах знакозміних температур; крім цього, утворення висолів викликає зниження технічних і декоративних властивостей цегляних конструкцій. Традиційні гідрофобізатори, як правило, не забезпечують задані експлуатаційні параметри цегляної кладки. У зв'язку з цим, технологія будівельного виробництва вимагає нового підходу до модифікування керамічної лицьової цегли на нано- і субмікрорівнях захисними речовинами гідрофобізуюче-кольматуючої дії та будівельного мурувального розчину на основі багатокомпонентних цементів добавками пластифікуюче-повітровтягуювальної дії з метою покращення експлуатаційних характеристик зовнішніх стін цегляних конструкцій.

Узагальнення результатів досліджень в області будівельного матеріалознавства свідчить, що підвищення довговічності зовнішніх стін будівель та споруд значною мірою досягається за рахунок їх поверхневого модифікування гідрофобізуючими нано-рідинами проникної та кольматуючої дії, а також застосуванням у мурувальних розчинах модифікованого багатокомпонентного цементу з пониженим до 40 % клінкер-фактором. Тому актуальними можна вважати дослідження, які направлені на вирішення завдання суттєвого зменшення висолоутворення цегляної кладки зовнішніх стін будівель і споруд та підвищення їх експлуатаційної надійності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в межах держбюджетних науково-дослідних робіт «Технології створення низькоемісійних багатокомпонентних цементів та модифікованих бетонів і будівельних розчинів на їх основі» (номер держреєстрації 0117U007178), «Основи технології створення енергозберігаючих мультимодальних композиційних цементів та бетонів поліфункціонального призначення на їх основі» (номер держреєстрації 0115U000426) та «Основи технології створення наномодифікованих надшвидкотверднучих портландцементів та високоміцних дисперсно-армованих композитів з підвищеною ударною в'язкістю на їх основі» (номер держреєстрації 0117U004446) відповідно до тематичного плану Міністерства освіти і науки України. У зазначених роботах автор була виконавцем.

Мета роботи і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель та споруд шляхом поверхневого оброблення керамічної лицьової цегли гідрофобізуючими речовинами нової генерації та розроблення ефективних будівельних розчинів на основі модифікованих низькоемісійних багатокomпонентних цементів з покращеними показниками якості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз відомих інформаційних джерел щодо модифікування керамічної лицьової цегли та будівельного розчину для підвищення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель та споруд;
- встановити відповідність фізико-технічних параметрів керамічної клінкерної та лицьової цегли нормативним стандартам та визначити характер процесів їх висолоутворення;
- визначити критерії впливу гідрофобізуючих речовин різного виду на фізико-технічні та експлуатаційні властивості керамічної лицьової цегли;
- оптимізувати гідрофобізуючі склади нано-рідин з вмістом нано- Al_2O_3 та дослідити їх вплив на водопоглинання та капілярне підтягування керамічної лицьової цегли методом математичного планування експерименту;
- дослідити фізико-механічні властивості будівельних розчинів на основі портландцементів різного типу та визначити характер процесів їх висолоутворення;
- запроєктувати ефективні склади будівельних розчинів на основі розроблених модифікованих низькоемісійних багатокomпонентних цементів для мурування типу МС 22,5 з добавками повітровтягувальної дії та дослідити їх показники якості;
- оцінити рівень стабільності основних властивостей цегляної кладки з використанням модифікованої керамічної лицьової цегли та будівельного розчину;
- провести практичну апробацію гідрофобізуючого нано-покриття для захисту цегляних конструкцій та будівельних розчинів на основі цементу для мурування, а також надати техніко-економічне обґрунтування їх ефективності.

Об'єктом досліджень є процеси направленого фізико-хімічного модифікування поверхні керамічної лицьової цегли нано-рідинами та будівельних розчинів на основі низькоемісійного багатокomпонентного цементу добавками пластифікуюче-повітровтягувальної дії для керування їх експлуатаційними властивостями.

Предметом досліджень є керамічна лицьова цегла з поверхневим обробленням гідрофобізуючими нано-рідинами та будівельний розчин на основі багатокomпонентного цементу з добавкою пластифікуюче-повітровтягувальної дії для зовнішніх стін будівель і споруд з підвищеною експлуатаційною надійністю.

Методи досліджень. Виконання експериментальних результатів проведено із застосуванням комплексу сучасних методів фізико-хімічного аналізу, зокрема, лазерної гранулометрії, рентгенівської дифрактометрії, растрової електронної мікроскопії, термогравіметрії та ін. Визначення фізико-технічних, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей керамічної цегли та модифікованого будівельного розчину проведено згідно з діючими національними і європейськими стандартами, а також загальноприйнятими методиками. Оптимізацію складу нано-рідин та комплексних добавок проведено із застосуванням експериментально-статистичних методів планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів:

– теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість фізико-хімічного модифікування поверхні керамічної лицьової цегли гідрофобізуючими захисними речовинами на основі нано-рідин проникної та кольматуючої дії з використанням нановолокон Al_2O_3 , які надають структурі поверхні рівномірній та більш щільній характер на субмікрорівні з утворенням наноармуючої зшитої структури, що забезпечує понижене водопоглинання та підвищення атмосферо- і морозостійкості цегляної конструкції;

– вперше отримано комплекс експериментально-статистичних моделей фізико-механічних показників модифікованої керамічної лицьової цегли, що кількісно характеризують комплексну проникну та захисну дію нано-рідин з вмістом високоактивних нановолокон Al_2O_3 у механізмі суттєвого підвищення експлуатаційної надійності кладки ($W_m=1,2-1,6\%$, $W=0,08-0,12\text{ кг/м}^2\cdot\text{год}^{0,5}$, F100), в т.ч. в умовах знакозмінних температур;

– визначені принципи одержання низькоемісійних багатокомпонентних цементів для мурування, модифікованих добавками пластифікуюче-повітровтягувальної дії, які забезпечують покращену легковкладальність і однорідність розчинових сумішей, направлене формування мікроструктури цементної матриці розчину з системою дрібних повітряних замкнених пор, що визначає якість кладки, а також підвищення її деформативності та тріщиностійкості;

– встановлено закономірності формування структури модифікованих низькоемісійних багатокомпонентних цементів для мурування з пониженим клінкер-фактором (40 %) та фізико-хімічні процеси їх гідратації, які визначаються процесами зв'язування кальцію гідроксиду з активним кремнеземом у складі пуцолани з регульованим формуванням стійких гідросилікатів кальцію, що забезпечує довговічність розчину без висолоутворення;

– подальшого розвитку набули фізико-хімічні, механічні та технологічні основи композиційної побудови будівельних розчинів на основі модифікованого цементу для мурування з регламентованими показниками якості за критеріями функціональності розчинової суміші, марочної міцності, пористості, морозостійкості із забезпеченням підвищеної експлуатаційної надійності цегляної кладки зовнішніх стін будівель та споруд.

Практичне значення одержаних результатів:

– розроблено та оптимізовано склади гідрофобізуючих нано-рідин на основі нановолокон Al_2O_3 , експериментально підтверджено технічні переваги даних захисних покриттів порівняно із традиційними гідрофобізуючими речовинами;

– проведено промислову апробацію гідрофобізуючих нано-рідин на ПП «Терміт» для захисту поверхні цегляних огорожувальних конструкцій при проведенні ремонтних і відновлювальних робіт (м. Львів; смт. Конопниця, Львівської обл.);

– за технологією сумісного помелу портландцементного клінкеру, гіпсового каменю, гранульованого доменного шлаку, цеолітового туфу та вапняку в кульовому млині 4,2x13,0 м з сепаратором фірми “Cristian Pfeiffer” на ПрАТ «Івано-Франківськцемент» здійснено випуск промислової партії модифікованого цементу

для мурування МС 22,5 та встановлено відповідність його характеристик вимогам ДСТУ Б EN 413-1:2015 «Цемент для мурування. Технічні умови»;

– за результатами досліджень розроблено проект технічних умов (ТУ У 23.5-02071010-175:2018) «Суха будівельна суміш модифікована для мурування», на основі яких у виробничих умовах ТзОВ Завод «Полімербудпром» виготовлено дослідну партію суміші сухої будівельної модифікованої МР1 на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5 EN 413-1;

– здійснено апробацію на ТзОВ «Підгаєцька будівельна компанія» ефективних будівельних розчинів на основі модифікованого багатокомпонентного цементу МС 22,5 для мурування стін будинків малоповерхової житлової забудови з вирішенням завдань забезпечення якості кладки (повнота і рівномірність заповнення швів), адгезії розчину, а також міцності і довговічності;

– теоретичні положення дисертаційної роботи та результати експериментальних досліджень і промислового впровадження використовуються в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні дисциплін «Сучасні будівельні матеріали та методи досліджень», «Наукові дослідження у будівництві» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні експериментальних досліджень, обробленні одержаних даних, впровадженні результатів роботи у виробництво. Постановка завдань та формулювання основних положень, висновків проводилось під керівництвом наукового керівника к.т.н., доц. Кропивницької Т.П.; обґрунтування вибору гідрофобізуючих речовин, зазначеного в розділі 3, проведено за участі д.т.н., проф. Гивлюда М.М.

Усі наукові результати дослідження дисертаційної роботи отримані автором особисто. В роботах, які опубліковані у співавторстві, автору належить: [1] – визначення гідрофобізуючої здатності захисного покриття; [2, 3] – встановлення впливу захисного покриття на морозостійкість керамічної лицьової цегли; [5, 13] – дослідження фізико-механічних властивостей багатокомпонентних цементів і будівельних розчинів на їх основі; [6, 7, 14] – проведення дослідження експлуатаційних властивостей модифікованої керамічної цегли та будівельних розчинів; [8] – оптимізація складу нано-рідин та дослідження їх впливу на показники водопоглинання та капілярного підтягування керамічної лицьової цегли; [10, 12] – дослідження фазового складу та мікроструктури висолів з керамічної лицьової цегли та будівельного розчину; [11] – визначення міцності при стиску та модуля пружності цегляної кладки; [15, 16] – патентний пошук, розроблення складів атмосферостійкого захисного покриття для керамічної цегли.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція V наукові читання імені академіка НАНУ А.С. Бережного «Фізико-хімічні проблеми в технології тугоплавких і неметалевих матеріалів» (Харків, 2016), VI Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2017), Міжнародна конференція «World Sustainable Energy Days» (Вельс, Австрія, 2018), Міжнародна конференція

«Структурування, міцність та руйнування композиційних матеріалів і конструкцій» (Одеса, 2018), VII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2018).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 16 наукових праць, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України, 1 – у науковому періодичному виданні іншої держави, 1 – у виданні, що включене до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 6 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій (одна з яких входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus) та 2 патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Основна частина дисертаційної роботи викладена на 123 сторінках друкованого тексту і складається із вступу, п'яти розділів та загальних висновків. Повний обсяг дисертації становить 186 сторінок і включає 43 таблиці, 48 рисунків, список використаних джерел із 158 найменувань на 16 сторінках та 11 додатків на 36 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, зазначено найбільш важливі положення, що отримані автором і мають наукову новизну та практичну цінність.

У першому розділі виконано аналітичний огляд стану наукової проблеми на підставі аналізу літературних джерел і визначено теоретичні передумови досліджень.

Для облицювання зовнішніх огорожувальних конструкцій, зведення архітектурних споруд, а також при ремонті або реконструкції житлово-громадських будинків широко використовується керамічна лицьова цегла. Дослідженнями О.О. Пашенко, М.В. Шпирько, Н.С. Сторчай, Л.П. Черняк, D. Benavente, H. Brocken, T.G. Nijland, R. van Hess та ін. показано, що такий штучний камінь за своєю внутрішньою структурою є неоднорідним і пористим матеріалом. Це призводить в процесі експлуатації до проникнення вологи, як у поверхневі, так і у глибші шари кладки, руйнуючи її, особливо під час впливу понижених додатних та від'ємних температур. З іншої сторони, проходить вимивання солей та винесення їх на поверхню матеріалу, що призводить і до втрати естетичного вигляду будівлі. Одним із способів подолання відповідних труднощів може бути поверхневе оброблення гідрофобізуючими речовинами. Саме такий підхід використаний в роботах М.М. Гивлюда, В.А. Свідерського, П.В. Захарченка, J. Šadauskienė, V. Stankevičius, J. Ramanauskas та ін. Використання сучасних гідрофобних матеріалів на основі кремнійорганічних сполук дозволяє зменшити показники водопоглинання пористими стіновими матеріалами, підвищити паропроникність, стійкість до стирання і покращити зовнішній вигляд будівельних конструкцій. Разом з тим, дослідженнями (Iu. Ginchitskaia, S. Nilpairach, J. Zach) показано, що такі речовини, особливо поліорганосилоксани, не забезпечують необхідної атмосферо- і морозостійкості керамічної лицьової цегли.

Покращення експлуатаційних властивостей будівельних матеріалів в значній мірі досягається за рахунок модифікування їх структури нанодобавками (В.М. Дерев'яно, К.К. Пушкарьова, К. Соболев, С.М. Толмачев, Л.О. Шейніч, В.І. Калашніков, О.А. Кучеренко, А. Nazari, P. Sikora та ін.). Дослідженнями G.S. Kamal показано, що для ефективного захисту бетонних поверхонь використовуються гідрофобізуючі нано-рідини. Унікальними властивостями характеризується нанопорошок оксиду алюмінію, який відіграє вирішальну роль при застосуванні в якості наповнювача в нанопокриттях (А. Ayday, С. Demirba). Разом з тим, проведені дослідження не дозволяють повною мірою оцінити дію таких гідрофобізуючих нано-рідин на властивості структури поверхні керамічних матеріалів.

Для зведення цегляної кладки зовнішніх стін будівель і споруд широко застосовують традиційні мурувальні розчини (Ю.М. Баженов, В.І. Гоц, Л.Й. Дворкін, R. Gagné та ін.), що характеризуються достатньою щільністю, міцністю зчеплення з основою та проектною маркою міцності. Разом з тим, внаслідок підвищеного водопоглинання у шві кладки може утворитися обезводнений шар розчину, що призводить до виникнення волосяних тріщин і руйнування цілісності самої кладки (В.М. Вировой, S. Fic). З іншої сторони, застосування традиційних розчинів на основі портландцементів загальнобудівельного призначення та добавки вапна, в якості пластифікатора, призводить до утворення висолів на поверхні стін. З метою покращення технологічних і будівельно-технічних властивостей мурувальних розчинів до їх складу вводять добавки повітровтягувальної дії, які дозволяють підвищити стійкість до дії багатократних циклів заморожування, виконуючи роль «демпферів напружень».

Одним з ефективних способів підвищення експлуатаційних властивостей цегляної кладки є також застосування багатокомпонентних цементів для будівельних розчинів (І.В. Барабаш, В.І. Кривенко, А.А. Пługін, М.А. Саницький, Х.С. Соболев, С.Й. Солодкий, О.В. Ушеров-Маршак, Г.М. Шабанова, А. Wolter, M. Muller, K. Scrivener). Доцільність використання таких в'язучих з підвищеним вмістом активних мінеральних добавок гідравлічної та пуцоланічної дії дозволяє ефективно управляти процесами структуроутворення цементної матриці розчину та отримувати матеріали з наперед заданими властивостями.

Аналіз відомих закономірностей в області будівельного матеріалознавства дозволяє висунути наукову гіпотезу щодо можливості поверхневого модифікування керамічної лицьової цегли гідрофобізуючими нано-рідинами, які за рахунок проникної та кольматуючої дії надають структурі поверхні рівномірний та більш щільний характер, а також створення низькоемісійних багатокомпонентних цементів для мурування, модифікованих добавками пластифікуюче-повітровтягувальної дії, які забезпечують направлене формування мікроструктури цементної матриці розчину, що визначає якість кладки без висолоутворення та сприяє підвищенню експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель і споруд.

У заключній частині огляду літератури сформульовано мету дисертаційної роботи, визначені завдання, які необхідно вирішити в процесі її виконання.

У другому розділі наведено характеристики вихідних матеріалів, описані основні методики досліджень, використані в роботі.

Для проведення досліджень використано керамічну лицьову порожнисту цеглу КЛПр-1НФ ДСТУ Б.В.2.7-61:2008 та виріб керамічний клінкерний порожнистий ККл/ОбПрОс/1НФ ДСТУ Б В.2.7-245:2010 ТзОВ «Керамейя» (м. Суми) та ПрАТ Роздільський керамічний завод ТМ «Євротон». В якості захисних покриттів застосовано гідрофобізатори на основі водного розчину кремнієвої смоли (ГФ-1), акрилових полімерів (ГФ-2), кремнійорганічних сполук (ГФ-3) та силіційорганічний лак (ПМФС) КО-85. Для підвищення експлуатаційних властивостей керамічної цегли розробляли гідрофобізуючу нано-рідину, до складу якої входить ПМФС, порошок оксиду алюмінію та оксиду заліза і нанопорошок оксиду алюмінію. Нанодисперсний порошок оксиду алюмінію (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Німеччина) містить частинки розміром 30–40 нм, істинна густина складає 0,12 г/см³, питома поверхня – 70 м²/г.

Для одержання будівельних мурувальних розчинів в якості в'язучих речовин використано портландцементи ПЦ II/A-Ш-400Р-Н і ПЦ II/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н, а також цемент для будівельних розчинів ЦБР 300 ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Модифікований цемент для мурування з повітровтягувальною добавкою МС 22,5 одержували з використанням портландцементного клінкеру ПрАТ «Івано-Франківськцемент» нормованого мінералогічного складу, гранульованного доменного шлаку "ArcelorMittal Кривий Ріг", цеолітового туфу Сокирницького родовища та вапняку Дубівецького родовища. При помелі цементу для мурування МС 22,5 в якості повітровтягувальної добавки використано модифікатор AeroCrete 1 (LP) МТС-chemie. Для виготовлення мурувальних розчинів використовували дуже дрібні піски ($M_k=1,1-1,3$) місцевих родовищ. Для покращення властивостей розчинів застосовано модифікатор пластифікуюче-повітровтягувальної дії Master Air 81 (ПВ) та добавку з протиморозним ефектом форміат кальцію (ФК).

Хімічні склади цементів і солей з поверхні цегляної кладки (керамічної цегли та штучного каменю – розчину) визначено з використанням рентгеноспектрометра ARL 9800 XP. Гранулометричний склад цементів визначали методом лазерної дифракції з використанням аналізатора Mastersizer 3000. Визначення фазового складу і мікроструктури матеріалів проведено з використанням рентгенівської дифрактометрії, термогравіметрії та електронної мікроскопії.

Показники якості керамічної клінкерної та лицьової цегли досліджували згідно ДСТУ Б В.2.7-245:2010 та ДСТУ Б В.2.7-61:2008, будівельного розчину – ДСТУ Б В.2.7-239:2011. Оптимізацію нано-рідин та модифікаторів для будівельних розчинів проведено із застосуванням методів ортогонального центрально-композиційного планування. Для визначення показника водопоглинання керамічної цегли використовували неруйнівний аналіз за методом Карстена (RILEM Test Method П.4) згідно з ASTM E 514 та ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Атмосферостійкість керамічної цегли та будівельного розчину визначали прискореним способом згідно методики Ю.М. Бутта та В.В. Тимашева. Стійкість керамічної цегли та будівельних розчинів до висолоутворення випробовували згідно ДСТУ Б В.2.7-171:2008, морозостійкість – ДСТУ Б В.2.7-42-97. Міцність на стиск цегляної кладки визначали згідно ДСТУ Б EN 1052-1:2011, а міцність зчеплення в кладці – згідно ДСТУ Б.В.2.6-174:2011.

У третьому розділі наведено результати дослідження характеру процесів висолоутворення керамічної лицьової цегли, впливу гідрофобізуючих речовин різних видів на її експлуатаційні властивості та розроблення захисних нано-рідин.

Для розроблення захисних нано-рідин проведено комплексну оцінку характеристик керамічної лицьової цегли та впливу гідрофобізуючих речовин різних видів на її експлуатаційні властивості. Експериментальними дослідженнями встановлено, що для керамічної клінкерної цегли пористість складає 13,6 %, водопоглинання – 5,2 %, показник водопоглинання при капілярному підтягуванні – $0,5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$. При цьому керамічна лицьова цегла характеризується неоднорідною мікроструктурою з високою пористістю (21 %) та водопоглинанням (16,5 %). Показник водопоглинання при капілярному підтягуванні досягає значення $2,2 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$, що в 4,4 рази більше порівняно з клінкерною цеглою.

Дослідженнями висолоутворення згідно з ДСТУ Б В.2.7-171:2008 через 7 діб випробувань встановлена наявність висолів на поверхні керамічної лицьової цегли. Згідно з даними хімічного аналізу висоли характеризуються підвищеним вмістом SO_3 (51,2 мас.%), а також лужних оксидів – Na_2O (36,7 мас.%) і K_2O (12,4 мас.%). Методом рентгенофазового аналізу показано, що на дифрактограмі висолів фіксуються лінії тенардиту Na_2SO_4 ($d/n=0,467; 0,384; 0,318; 0,278; 0,264; 0,232 \text{ нм}$), арканіту K_2SO_4 ($d/n=0,288; 0,221; 0,208 \text{ нм}$) та сингеніту ($d/n=0,951; 0,285 \text{ нм}$). Як видно з мікрофотографії (рис. 1, а), солі тенардиту визначаються пухкою дрібнокристалічною структурою, а арканіт кристалізується пластиноподібними агрегатами (10...20 мкм), окремими групами (рис. 1, б). Наявність фаз солей Na_2SO_4 і K_2SO_4 підтверджується даними рентгеноспектрального аналізу (рис. 1, в, г).

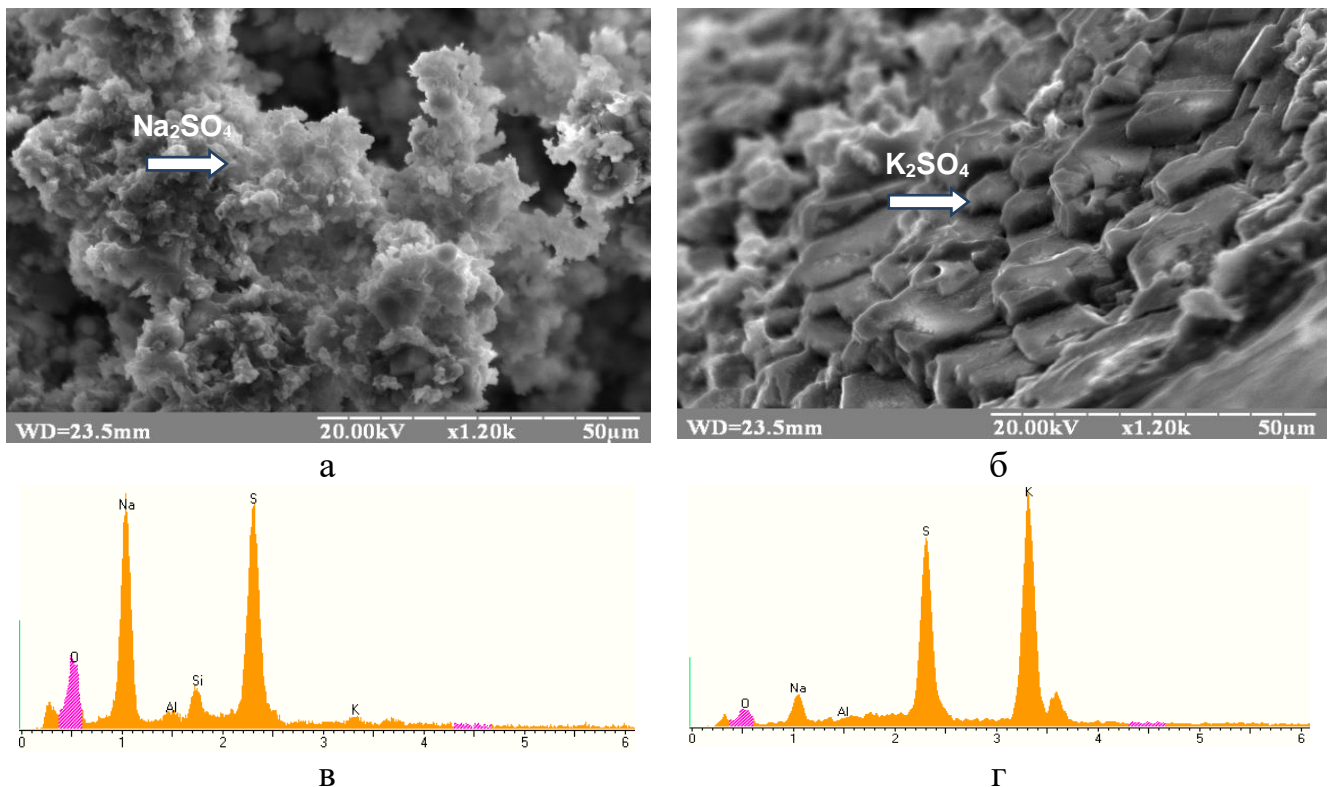


Рисунок 1 – Мікроструктура (а, б,) та спектри рентгенівського характеристичного випромінювання (в, г) висолів з керамічної лицьової цегли

У зв'язку з підвищеним вмістом K_2O у висолах проходить зв'язування сульфатного аніону з утворенням мінералу сингеніту. Це може бути причиною руйнівних явищ у матриці цегли, а загалом і в кладці.

Для попередження висолоутворення та покращення експлуатаційних властивостей керамічної лицьової цегли застосували метод поверхневого модифікування гідрофобізуючими речовинами. Як видно з рис. 2, при нанесенні гідрофобізатора ПМФС (КО-85) водопоглинання зменшується від 16,5 до 13,2 %, водопоглинання при капілярному підтягуванні – від 2,2 до 1,98 $кг/м^2 \cdot год^{0,5}$. Оброблення поверхні захисними речовинами ГФ-1 і ГФ-2 призводить до зниження водопоглинання в 1,5...2,7 рази, водопоглинання при капілярному підтягуванні в 2...2,5 рази. Найнижчими показниками водопоглинання ($W_m=4,8$ %, $W=0,61$ $кг/м^2 \cdot год^{0,5}$) характеризується керамічна лицьова цегла, покрита ГФ-3.

Результати експериментальних випробувань встановили, що для керамічної лицьової цегли, поверхня якої оброблена ПМФС, морозостійкість збільшується на 15 циклів, а для поверхні, покритої ГФ-2 – на 20 циклів порівняно з цеглою без гідрофобізатора (марка за морозостійкістю F50). Методом електронної мікроскопії встановлено, що після попереминого заморожування і відтавання на поверхні цегли, обробленої гідрофобізатором на основі ПМФС, спостерігається інтенсивне утворення мікротріщин, що призводить до збільшення водопоглинання на 42 %. Для цегли, модифікованої ГФ-2 і ГФ-3, тріщини по поверхні зразка утворилися локально з меншим розкриттям, що призвело до збільшення водопоглинання на 28–22 %. Це свідчить, що досліджувані покриття на основі традиційних гідрофобізаторів не можна використовувати для захисту цегляних конструкцій, які працюють в умовах підвищеної вологості, а також впливу циклів попереминого заморожування і відтавання.

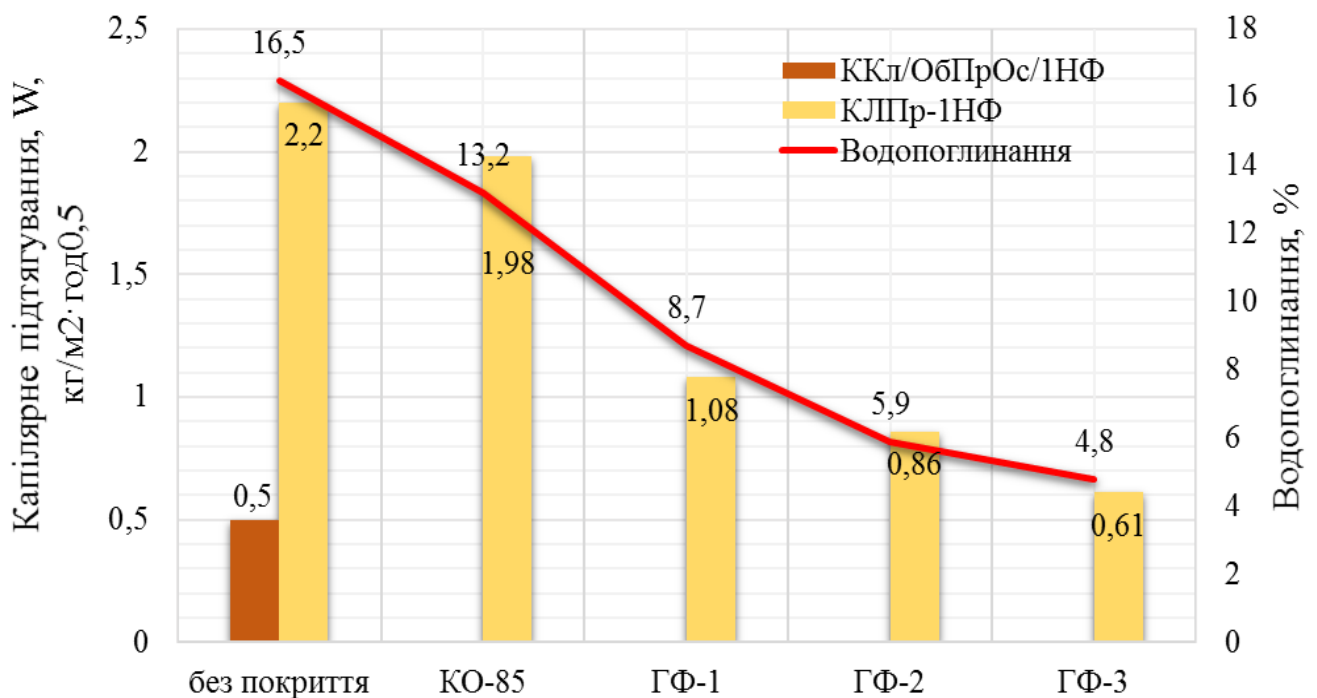


Рисунок 2 – Капілярне підтягування та водопоглинання керамічної клінкерної та лицьової цегли

Для покращення експлуатаційних властивостей керамічної лицьової цегли, досліджено вплив гідрофобізуючих речовин з вмістом високоактивних наночастинок Al_2O_3 методом математичного планування експерименту. Експериментальні дослідження впливу нано-рідин на властивості керамічної цегли виконані відповідно до плану двофакторного тривірневого експерименту, в якості змінних факторів якого вибрано вміст ПМФС (КО-85) ($X_1=30; 35; 40$ мас.%) і кількість нанопорошку Al_2O_3 ($X_2=0; 0,5; 1,0$ мас.%) (відповідно вміст оксиду алюмінію та феруму складав 55...65 %). За результатами досліджень одержані рівняння регресії водопоглинання (Y_{wm}) та капілярного підтягування (Y_w), що адекватно описують залежність показників, як критеріїв оптимізації системи, від змінних факторів. На основі графічної інтерпретації отриманих математичних моделей (рис. 3, а, б) встановлено, що оптимальна область введення нано- Al_2O_3 знаходиться в межах 0,6...0,8 мас.%. При модифікуванні поверхні нано-рідиною водопоглинання зменшується до 1,2–1,6 %, показник водопоглинання при капілярному підтягуванні – до 0,08–0,12 $\text{кг}/\text{м}^2\cdot\text{год}^{0,5}$.

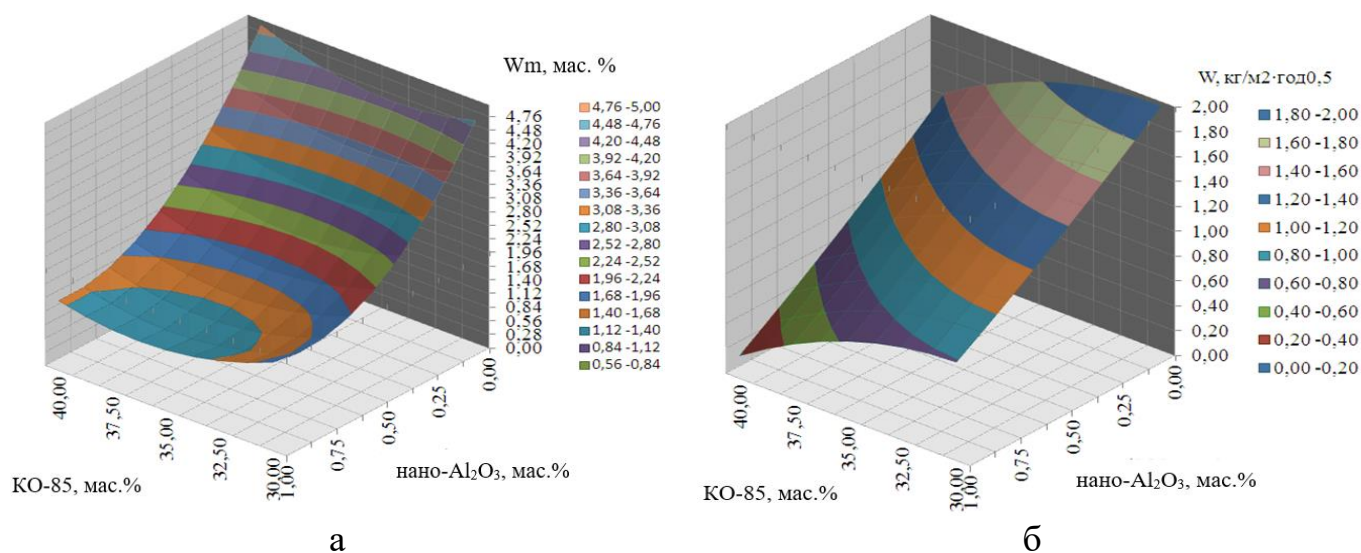


Рисунок 3 – Ізопараметричні діаграми зміни водопоглинання (а) та капілярного підтягування (б) керамічної лицьової цегли, модифікованої нано-рідиною

Методом дефектоскопії з використанням трубки Карстена (рис. 4, а, в) встановлено, що найнижчим водопоглинанням ($0,002$ $\text{мл}/\text{см}^2$) через 2 год витримки-падіння характеризується поверхня керамічної цегли, модифікована нано-рідиною, тоді як для цегли без покриття – $0,15$ $\text{мл}/\text{см}^2$. Виходячи з цих результатів, можна констатувати наявність цікавої закономірності, що пов'язана з формуванням мікроструктури поверхні. Зокрема, методом електронної мікроскопії встановлено, що поверхня зразка керамічної цегли без покриття (рис. 4, б) є неоднорідною з виступами та капілярними мікропорами (10–15 $\mu\text{м}$). При просоченні поверхні зразка нано-рідиною мікроструктура вирівнюється та ущільнюється за рахунок проникнення наночастинок у порову структуру матеріалу (рис. 4, г). Ефективність нанесення нано-рідини обумовлена вільною енергією поверхні, а також кольматуванням поверхні на субмікрорівні частинками нано- Al_2O_3 в складі

гідрофобізуючої речовини. При цьому блокується підтягування водорозчинних солей з кладки.

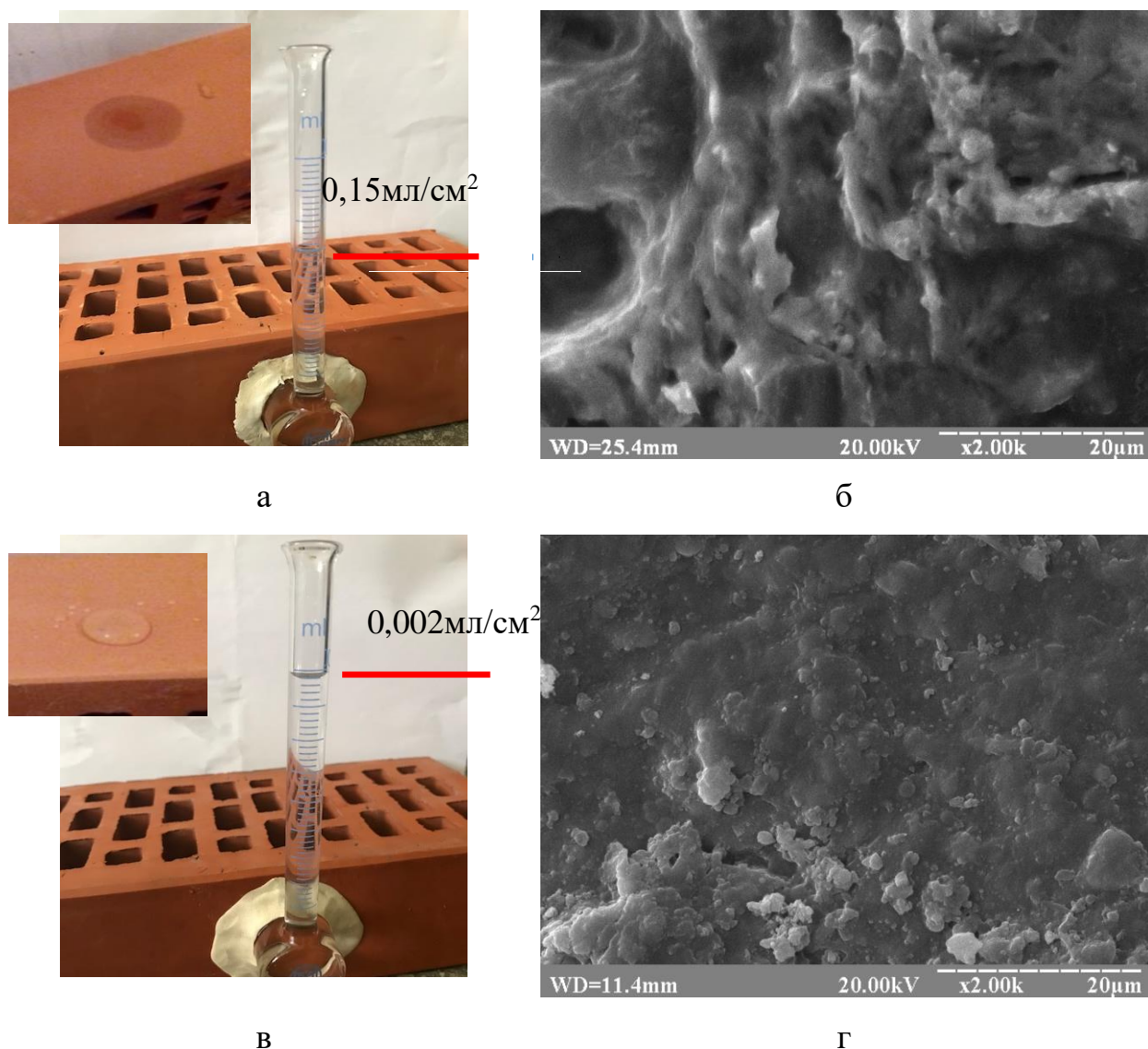


Рисунок 4 – Водопоглинання та мікроструктура керамічної лицьової цегли: немодифікованої (а, б) та модифікованої нано-рідиною (в, г)

Дослідженнями атмосферостійкості встановлено, що для непокритої керамічної лицьової цегли після 100 циклів поперемінного висушування і зволоження втрата міцності складала 15,2 %; при цьому на зразках спостерігались тріщини шириною розкриття 2–3 мм. В той же час, для керамічної лицьової цегли, поверхня якої модифікована нано-рідиною, втрата міцності становила 1,8 % без утворення тріщин. Слід відзначити, що для керамічної лицьової цегли, модифікованої нано-рідиною морозостійкість збільшилась на 50 циклів та досягає марки F100. Завдяки цьому можна стверджувати, що нано-рідина суттєво впливає на змінення характеру структури поверхні керамічної лицьової цегли для забезпечення захисту цегляної будівельної конструкції та підвищення її експлуатаційних властивостей. Основні показники керамічної лицьової цегли, без покриття та модифікованої нано-рідиною наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні показники керамічної лицьової цегли, модифікованої нано-рідиною

Показник	Одиниці вимірювання	Значення	
		Контрольний зразок (непокритий)	Зразок, покритий нано-рідиною
Водопоглинання	%	16,5	1,2
Капілярне підтягування	кг/м ² ·год ^{0,5}	2,2	0,08
Атмосферостійкість - втрата міцності	%	15,2	1,8
Морозостійкість: - втрата міцності	%	19,0	5,2
- втрата маси	%	8,6	1,9

Четвертий розділ присвячено розробленню ефективних будівельних розчинів на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5, вивченню їх показників якості та визначенню експлуатаційної надійності цегляної кладки.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що для складних будівельних розчинів (Ц=280 кг на 1 м³ піску, марка за рухомістю П8) марки за міцністю М100 на основі портландцементів ПЦ II/A-Ш-400Р-Н і ПЦ II/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н з добавкою вапняного тіста водоутримувальна здатність складає 93,1–96,7%, розшаровування 8,2–5,4 %, загальна пористість – 20,7–21,2 %. Характерно, що при експлуатації таких традиційних розчинів на основі портландцементів з клінкер-фактором 80–65 % та добавкою вапна через капіляри потрапляє вода з утворенням висолів на їх поверхні. Зазначимо, що хімічний склад висолів з будівельного розчину цегляної кладки характеризується підвищеним вмістом СаО (29,9 мас.%). При цьому кількість SO₃ складає 7,52 мас.%, Na₂O – 3,6 мас.%, K₂O – 2,5 мас.%. Згідно даних рентгенофазового аналізу, на дифрактограмі досліджуваних солей з будівельного розчину характерні лінії кальциту (d/n=0,303; 0,249; 0,228 нм), тенардиту (d/n=0,467; 0,384; 0,278; 0,264; 0,232 нм), гіпсу (d/n=0,756; 0,427 нм), також проявляються рефлекси сингеніту (d/n=0,951; 0,285 нм).

Одним з ефективних способів підвищення довговічності цегляної кладки та попередження висолоутворення є застосування будівельних розчинів на основі модифікованих багатокомпонентних цементів з пониженим вмістом портландцементного клінкеру (40 мас.%). Технологічна оптимізація за рахунок комбінування мінеральних добавок ГДШ, цеоліту та вапняку, а також добавки пластифікуюче-повітровтягуювальної дії в заводських умовах, дозволяє отримати модифіковані низьоклінкерні багатокомпонентні цементу для мурування. Згідно з даними гранулометричного аналізу для багатокомпонентного цементу вміст фракцій Ø5; Ø10; Ø20, Ø60 мкм становить 32,62; 46,43; 62,30; 88,66 %, а розмір зерен d10, d50, d90 відповідає 1,12; 11,19; 62,2 мкм. Ультрадисперсна фракція (Ø<1 мкм) цементу складає 8,81 %. Максимум на диференційній кривій розподілу частинок за розмірами відповідає 3,59 мкм.

Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що для модифікованого багатокомпонентного цементу питома поверхня складає $8750 \text{ см}^2/\text{г}$, залишок на ситі A_{008} становить 1,3 %, терміни початку і кінця тужавлення складають відповідно 180 і 220 хв. Показник водовідділення цементного тіста за методом розрахунку об'ємного коефіцієнту згідно ДСТУ Б В.2.7-124-2004 при $V/C=1,0$ становить 9,7 об. %. Як видно з рис. 5, а, б, під час випробування згідно ДСТУ Б В.2.7-187:2009 розплив стандартного конуса становить 112 мм, границя міцності на стиск через 2, 7 і 28 діб тверднення складає відповідно 9,2; 18,9 і 30,2 МПа. Результатами досліджень згідно з EN 196-1 ($V/C=0,5$) встановлено, що при $R_K=162$ мм модифікований багатокомпонентний цемент ($R_{c28}=25,2$ МПа) відповідає типу МС 22,5 ДСТУ Б EN 413-1:2015. При цьому його міцність через 90 і 365 діб тверднення збільшується і становить 30,7 і 35,2 МПа відповідно. Для модифікованого багатокомпонентного цементу МС 22,5 за рахунок підвищеного вмісту мінеральних добавок і наповнювачів світлих відтінків коефіцієнт відбиття становить 61 %, коефіцієнт розм'якшення складає 0,91. Пониження до 40 % клінкер-фактору в таких низькоемісійних цементах у процесі їх виробництва в значній мірі сприяє зниженню їх енергоємності на 60 % та емісії CO_2 – в 2,5 рази порівняно з 1 т портландцементу ПЦ І-500Р-Н, що визначає економічні та екологічні ефекти.

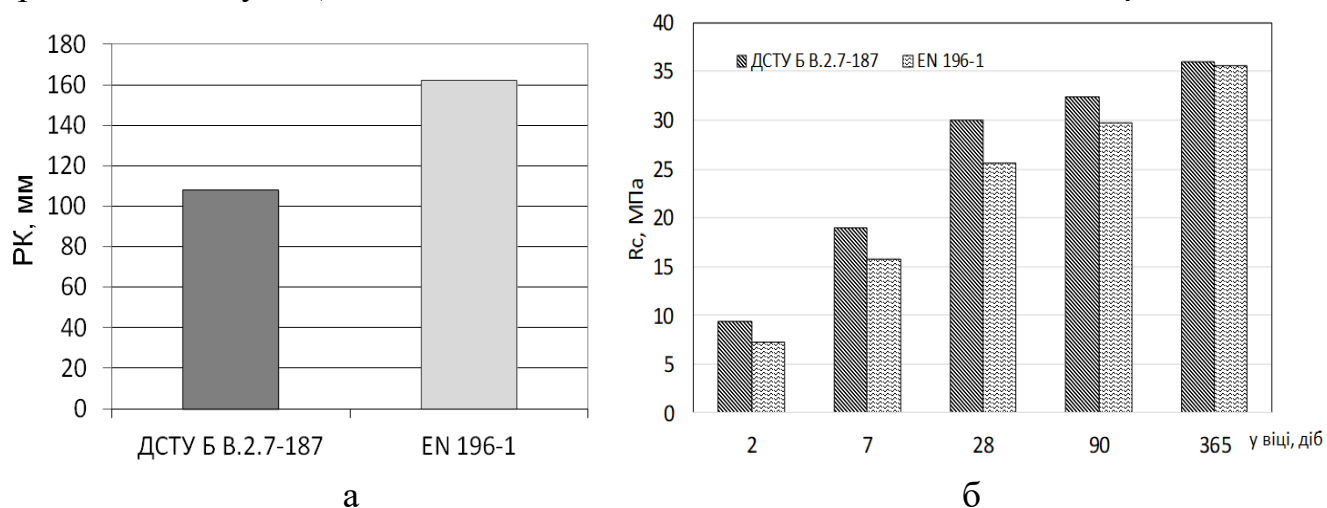


Рисунок 5 – Рухливість (а) та міцність (б) модифікованого багатокомпонентного цементу для мурування МС 22,5 згідно ДСТУ Б В.2.7-187 та EN 196-1

Згідно з даними рентгенофазового аналізу, на дифрактограмі модифікованого багатокомпонентного цементу МС 22,5, гідратованого 28 діб, спостерігаються лінії кальциту ($d/n=0,303$; $0,249$ нм), кальцію гідроксиду ($d/n=0,490$; $0,263$; $0,192$ нм), еtringіту ($d/n=0,973$; $0,388$ нм). Тонкодисперсна фракція вапняку в процесі гідратації клінкерної складової стабілізує продукти гідратації трикальцієвого алюмінату з утворенням гексагональних гідрокарбоалюмінатів кальцію $\text{C}_3\text{A}\cdot\text{CaCO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($d/n=0,76$; $0,380$ нм). Ультрадисперсний цеоліт (вміст активного SiO_2 – 70 %) інтенсивно зв'язує кальцію гідроксид в стійкі низькоосновні гідросилікати кальцію, що сприяє ущільненню мікроструктури каменю та запобігає висолотуванню.

Методом електронної растрової мікроскопії встановлено, що ущільненню мікроструктури та кольматуванню пор гідратованого цементного каменю на основі

МС 22,5 значною мірою сприяють голчаті AF_1 -фази. Кристалічні структури еtringіту, кольматуючи пори, сприяють синтезу його міцності з віком тверднення. Дрібнодисперсні включення кальциту в масі гелеподібної фази С-S-H дозволяють зменшити деформації усадки цементного каменю. Зазначимо, що добавки пластифікуюче-повітровтягувальної дії призводять до утворення в камені системи повітряних замкнутих пор діаметром 20–150 мкм, що відділені між собою і забудовані цементною масою мінеральних компонентів. Вакуольні мікропори переривають протяжність капілярів, що дозволяє зменшити підтягування води та водопоглинання каменю. З іншої сторони, такі пори відіграють роль «демпферів напружень», що сприяє зниженню деформативності та підвищенню тріщиностійкості цементної матриці розчину. Згідно даних термогравіметричного аналізу, розрахункове значення кількості $Ca(OH)_2$ в цементному камені на основі МС 22,5 складає 6,9 мас.%, а карбонатів у перерахунку на $CaCO_3$ – 12,6 мас.%.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що для мурувального розчину на основі модифікованого багатокомпонентного цементу МС 22,5 ($\rho = 380 \text{ кг/м}^3$, марка за рухомістю П8), середня густина складає 1840 кг/м^3 , границя міцності на стиск через 7 та 28 діб становить відповідно 5,9 і 10,8 МПа, що відповідає марці М100; міцність через 1 рік тверднення складає 14,7 МПа. Показники водоутримувальної здатності (98,6 %) та розшаровування (0,8 %) розчинової суміші відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-23-95. Пористість модифікованого мурувального розчину складає 30,5 % (відкрита – 13,8 %, закрита – 16,7 %), морозостійкість – F75. Для модифікованого будівельного розчину марки за міцністю М100 модуль пружності $E_{cm} = 15,9 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуасона $\nu = 0,17$. Показники якості будівельного розчину на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5 наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Показники якості будівельного розчину на основі модифікованого багатокомпонентного цементу для мурування МС 22,5

Назва показника	Одиниці вимірювання	Значення показника
Рухомість	см	7,9
Термін придатності, Ж	хв	300
Консистенція	см	2,9
Розшаровуваність, П	%	0,8
Водоутримувальна здатність, V	%	98,6
Міцність на стиск, R_c	МПа	10,8
Модуль пружності, E_{cm}	ГПа	15,9
Призмova міцність, $R_{пр}$	МПа	9,0
Коефіцієнт Пуасона, ν	-	0,17
Пористість, П	%	30,5
Усадка, ϵ_y	мм/м	0,26
Морозостійкість, F	цикли	75
Висолоутворення	-	немає

Для роботи в умовах понижених додатних та від'ємних температур проведено оптимізацію поліфункціональних добавок пластифікуюче-прискорюючої дії. Так, комплексна добавка з протиморозним ефектом (0,06 мас.% ПВ + 1,5 мас.% ФК) забезпечує тверднення будівельних розчинів на основі багатокомпонентного цементу МС 22,5Х до температури $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Методом низькотемпературної дилатометрії встановлено, що для розчинової суміші (Ц:П=1:3, В/Ц=0,78) з підвищеною пластичністю (РК=210 мм), температура початку замерзання рідкої фази знижується до $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ і деформації розширення складають 0,12 %, а при подальшому охолодженні до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ досягають 0,82 %. Для таких модифікованих мурувальних розчинів висолоутворення не спостерігається.

Характер руйнування кладки і ступінь впливу численних факторів на міцність пояснюють особливостями її напруженого стану при стиску (ДСТУ Б В.2.6-207:2015). Руйнування звичайної цегляної кладки при стиску проходить з утворенням окремих вертикальних тріщин, кількість яких залежить від якості виконання горизонтальних швів, середньої густини застосовуваного розчину та ін. Результатами досліджень згідно ДСТУ Б EN 1052-1:2011 встановлено, що для зразка цегляної кладки (будівельний розчин на основі МС 22,5 класу М10,0) границя міцності при стиску складає $8,5\text{ Н/мм}^2$, а модуль пружності – $29,8 \cdot 10^{-3}\text{ Н/мм}^2$ (рис. 6, а). Слід відзначити, що цегляна кладка на основі складного розчину характеризується вищими показниками модуля пружності ($E=33,2 \cdot 10^{-3}\text{ Н/мм}^2$). При цьому, міцність зчеплення модифікованого розчину в цегляній кладці (площа відриву 240 см^2 , величина відриваючого навантаження 1500 Н) становить 0,73 МПа (рис. 6, б).



а



б

Рисунок 6 – Визначення модуля пружності цегляної кладки (а) та міцності зчеплення розчину на основі модифікованого багатокомпонентного цементу МС 22,5 (б)

Використання керамічної лицьової цегли з поверхневим обробленням нано-рідиною та будівельного розчину на основі модифікованого багатокомпонентного цементу для мурування МС 22,5 забезпечує висолостійкість цегляної кладки.

П'ятий розділ присвячено дослідно-промисловій апробації захисних нано-рідин, представлено результати промислового випуску модифікованих цементів для мурування та впровадження будівельних розчинів на їх основі.

Розроблені гідрофобізуючі нано-рідини використано ПП «Терміт» для захисту поверхні цегляних огорожувальних конструкцій площею 224 м² при проведенні ремонтних і відновлювальних робіт (м. Львів; смт. Конопниця, Львівської обл.). При застосуванні захисних нано-рідин досягається економічний ефект 140–170 грн/м² поверхні, фактичний економічний ефект від впровадження партії в кількості 112 л складає 38,2 тис. грн. У виробничих умовах ПрАТ "Івано-Франківськцемент" проведено випуск промислової партії модифікованого низькоемісійного багатокомпонентного цементу для мурування МС 22,5 EN 413-1 в кількості 70 тонн. В результаті роботи було досягнуто позитивний екологічний ефект, адже розроблені низькоемісійні цементи для мурування дозволяють зменшити питомі викиди CO₂ на тонну виробленого цементу в 2,5 рази. На ТзОВ Завод "Полімербудпром" виготовлено дослідну партію суміші сухої будівельної модифікованої МР1 ТУ У 23.5-02071010-175:2018 в кількості 10 т. При випуску мурувальних розчинів на ТзОВ "Підгаєцька будівельна компанія" показано, що при використанні легковкладальних розчинових сумішей на основі МС 22,5 для мурування стін будинків малоповерхової житлової забудови (с. Бірки, Львівська обл.) з врахуванням зниження трудомісткості, зменшення затрат на вкладання, ефективність від впровадження розробки складає 154,62 грн на 1 м³ розчину.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи вирішено наукове завдання підвищення експлуатаційної надійності та довговічності зовнішніх стін будівель і споруд. Внаслідок проведених теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано наступне:

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість підвищення експлуатаційної надійності цегляної кладки зовнішніх стін будівель та споруд шляхом поверхневого оброблення керамічної лицьової цегли гідрофобізуючими нано-рідинами нової генерації та розроблення ефективних будівельних розчинів на основі низькоемісійних багатокомпонентних цементів з пониженим клінкер-фактором (40 %) для мурування типу МС 22,5, модифікованих добавками пластифікуюче-повітровтягувальної дії.

2. Встановлено, що найвищими показниками пористості (21 %), водопоглинання (16,5 %) та капілярного підтягування (2,2 кг/м²·год^{0,5}) характеризується керамічна лицьова цегла, найнижчими (П=13,6 %, W_m=5,2 %, W=0,5 кг/м²·год^{0,5}) – керамічна клінкерна цегла. Дослідженнями висолоутворення показано утворення солей на поверхні керамічної лицьової цегли, які представлені підвищеним вмістом SO₃ (51,2 мас.%) та лужних оксидів – Na₂O (36,7 мас.%), K₂O (12,4 мас.%). Методами рентгенофазового і рентгеноспектрального аналізів встановлена наявність солей тенардиту, арканіту та сингеніту.

3. Вивчено вплив гідрофобізуючих речовин різних видів на властивості керамічної лицьової цегли. Поверхнєве оброблення цегли речовинами на основі кремнійорганічних сполук і акрилових полімерів призводить до зниження водопоглинання в 1,5...2,7 рази, водопоглинання при капілярному підтягуванні в 2...2,5 рази. Дослідженнями морозостійкості встановлено, що для цегли, обробленої КО-85 і ГФ-1 після 50 циклів поперемінного заморожування і відтавання, водопоглинання збільшується на 42 і 32 %, а при модифікуванні ГФ-2 і ГФ-3 – на 28–22 %. Для керамічної лицьової цегли, модифікованої КО-85 і ГФ-1, на поверхні спостерігається інтенсивне утворення дефектів і тріщин, а для зразків, оброблених ГФ-2 і ГФ-3 – локальних мікротріщин з меншим розкриттям.

4. За результатами експериментально-статистичного моделювання оптимізовано склади основних компонентів нано-рідин (35–45 мас. % ПМФС, 55–65 мас.% оксид алюмінію та оксид феруму, 0,6–0,8 мас.% нано- Al_2O_3), що забезпечують високий рівень гідрофобізації керамічної лицьової цегли із зменшенням водопоглинання ($W_m=1,2–1,6$ %) та капілярного підтягування ($W=0,08–0,12$ кг/м²·год^{0,5}); водопоглинання за методом дефектоскопії через 2 год витримки-падіння складає 0,002 мл/см². Керамічна лицьова цегла, модифікована нано-рідиною характеризується підвищеними показниками атмосферостійкості (після 100 циклів поперемінного зволоження і висушування втрати міцності зменшились в 8,4 рази) та морозостійкості (марка F100) без утворення тріщин.

5. Для підвищення експлуатаційних властивостей цегляної кладки, показана доцільність розроблення модифікованих низькоемісійних багатокомпонентних цементів для мурування. За результатами випробувань згідно з ДСТУ Б EN 196–1:2015 (В/Ц=0,5) показано, що для багатокомпонентного цементу ($S_{питт}=8750$ см²/г) при РК=162 мм показник міцності на стиск через 2 і 28 діб складає 8 і 25,2 МПа. При вмісті 40 мас.% портландцементного клінкеру і 0,08 мас.% добавки пластифікуюче-повітровтягувальної дії таке в'язуче ідентифікують, як цемент для мурування, що відповідає типу МС 22,5 EN 413-1. Понижене водовідділення (K=9,7 об. %) цементу забезпечує одержання однорідних розчинових сумішей без розшарування. Ультрадисперсний цеоліт у складі в'язучого інтенсивно зв'язує кальцію гідроксид у стійкі гідратні фази, що запобігає висолоутворенню.

6. Легковкладальність розчинових сумішей на основі МС 22,5 визначається наступними показниками: марка за рухомістю П8, водоутримувальна здатність – 97–98 %, розшаровуваність – 2–4 %. Модифіковані мурувальні розчини проектної марки М100 характеризуються середньою густиною 1840 кг/м³, пониженою усадкою ($\epsilon_y=0,26$ мм/м), морозостійкістю (F75) і атмосферостійкістю. Модуль пружності такого розчину порівняно з складним розчином зменшується від 28,7 до 15,9 ГПа, а коефіцієнт Пуасона зростає від 0,14 до 0,17, що сприяє зниженню можливості утворення тріщин та підвищує якість кладки. Для мурувальних розчинів, внаслідок повітровтягування вихід модифікованої розчинової суміші збільшується на 16...20 %, а витрата цементу зменшується на 30...40 кг. Розроблені комплексні добавки з протиморозним ефектом (0,06 мас.% ПВ+1,5 мас.% ФК) дозволяють покращити міцнісні характеристики мурувального розчину при твердненні в умовах понижених додатних і від'ємних (до -15 °С) температур.

7. Випробуваннями зразків кладки з використанням модифікованого будівельного розчину на основі модифікованого цементу для мурування ($f_m=$

10,8 Н/мм²) згідно ДСТУ Б EN 1052-1:2011 показано, що границя міцності при стиску через 28 діб складає 8,5 Н/мм², а модуль пружності – $29,8 \cdot 10^{-3}$ Н/мм². Міцність зчеплення модифікованого розчину в цегляній кладці становить 0,73 МПа. Наномодифікування поверхні цегляної кладки та використання ефективного розчину на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5 забезпечує підвищення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель і споруд.

8. На ПП «Терміт» здійснено випуск розроблених нано-рідин, які використано для захисту поверхні цегляних огорожувальних конструкцій при проведенні ремонтних і відновлювальних робіт. ПрАТ «Івано-Франківськцемент» проведено випуск промислово-дослідної партії модифікованого цементу для мурування EN 413-1 МС 22,5 в кількості 70 тонн. Низькоемісійні цементы дозволяють зменшити емісію CO₂ в 2,5 рази на тонну цементу. На ТзОВ Завод «Полімербудпром» виготовлено дослідну партію суміші сухої будівельної модифікованої МР1 в кількості 10 т. При проведенні мурування стін будинків малоповерхової житлової забудови ТзОВ «Підгаєцька будівельна компанія» економічний ефект від впровадження розробки складає 154,62 грн на 1 м³ розчину.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Оцінка ефективності дії захисного покриття на корозійну стійкість бетону / М.М. Гивлюд, Н.П. Сташко, Н.І. Топилко, Р.М. Семенів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Теорія і практика будівництва. – 2015. – № 823. – С. 76–82. – ISSN 0321-0499.

2. Гивлюд М.М. Покращення експлуатаційних властивостей керамічної цегли поверхневим модифікуванням поверхні / М.М. Гивлюд, Р.М. Семенів, І.В. Ємченко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Теорія і практика будівництва». – 2016. – № 844. – С. 53–58. – ISSN 0321-0499.

3. Гивлюд М.М. Оптимізація складу захисного покриття та його вплив на водо- і морозостійкість керамічної цегли / М.М. Гивлюд, Р.М. Семенів, Я.Й. Коцій // Вісник НТУ «ХП». – 2016. – № 22(1194). – С. 44–49. – ISSN 2079-0821.

4. Семенів Р.М. Визначення фізико-технічних властивостей керамічної цегли та її гідрофобний захист / Р.М. Семенів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Теорія і практика будівництва». – 2017. – № 877. – С. 187–192. – ISSN 0321-0499.

5. Кропивницька Т.П. Низькоемісійні багатокomпонентні цементы в технології будівельних розчинів / Т.П. Кропивницька, Г.С. Іващишин, Р.М. Семенів // Вісник ОДАБА. – 2017. – № 68. – С. 70–75. – ISSN 2415-377X.

6. Підвищення експлуатаційних властивостей цегляної кладки зовнішніх стін огорожувальних конструкцій / Т.П. Кропивницька, М.А. Саницький, Р.М. Семенів, А.Т. Камінський // Науковий вісник будівництва. – 2018. – Т.91, №1. – С. 146–151.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз:

7. Impact of modifiers on the properties of brick masonry construction / Т. Кропуньська, Р. Семенів, М. Чекало, А. Камінський // The international journal Sustainable development. – 2018. – Vol. 2. – P. 77–82. – ISSN 2367-5454.

8. Studying the effect of nano-liquids on the operational properties of brick building structures / T. Kropyvnytska, R. Semeniv, R. Kotiv, A. Kaminskyu, V. Gots // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 5/6(95). – P. 27–32. – ISSN 1729-3774, SCOPUS, Index Copernicus (DOI: 10.15587/1729-4061.2018.145246).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Семенів Р.М. Атмосферостійке захисне покриття для керамічних матеріалів на основі полісилоксанового компоненту / Р.М. Семенів // Тези доповідей 6-ї міжнародної науково-технічної конференції. Харків, 2017. – С. 70–74.

10. Kropyvnytska T. Increase of brick masonry durability for external walls of buildings and structures / T. Kropyvnytska, R. Semeniv, H. Ivashchyshyn // MATEC Web of Conferences. – 2017, Vol. 116. – 01007. – ISSN 2261-236X, Scopus.

11. Семенів Р.М. Міцність і руйнування цегляної кладки на основі модифікованих багатокомпонентних цементних розчинів / Р.М. Семенів, Т.П. Кропивницька, І.І. Кіракевич // Тези доповідей міжнар. конф. «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій». Одеса, 2018. – С. 124–126.

12. Кропивницька Т. П. Вплив нанорідин на стійкість зовнішніх цегляних стін будівель і споруд щодо висолоутворення / Т.П. Кропивницька, Р.М. Семенів, А.Т. Камінський // Тези доповідей II міжнар. наук.-практ. конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні». Харків, 2018. – С. 127–128.

13. Ivashchyshyn H. Multicomponent cements for masonry mortars in the low carbon economy / H. Ivashchyshyn, R. Semeniv // Young Energy Efficiency Researchers Conference, WSED, Wels, Austria. – 2018.

14. Ефективність використання модифікуючих речовин для захисту цегляних конструкцій / Т.П. Кропивницька, Р.М. Семенів, А.Т. Камінський, В.В. Гоц // Тези доповідей 7-ої міжнар. наук.-техн. конференції. Харків, 2018. – С. 195–197.

Патенти України на корисну модель:

15. Пат. 109910 Україна, МПК С09D5/00. Атмосферостійке захисне покриття / Гивлюд М.М., Семенів Р.М. - № u201603937; опубл. 12.09.2016, Бюл. №17. – 4 с.

16. Пат. 115752 Україна, МПК С09D5/00. Спосіб отримання атмосферостійкого захисного покриття / Гивлюд М.М., Семенів Р.М., Ємченко І.В. – № u201611494; заявл. 14.11.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. №8. – 3 с.

АНОТАЦІЯ

Семенів Р. М. Модифікування керамічної цегли та будівельного розчину зовнішніх стін будівель та споруд для підвищення їх експлуатаційної надійності. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. Національний університет “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України. – Львів, 2019.

Дисертаційна робота присвячена питанням розроблення теоретичних основ підвищення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель і споруд шляхом модифікування поверхні керамічної лицьової цегли високоефективними нанорідинами та застосування будівельного розчину на основі модифікованого низькоемісійного багатокомпонентного цементу для мурування МС 22,5, що забезпечує технічні, екологічні та економічні переваги. Оптимізовано склади

високоєфективних нано-рідин з використанням нано- Al_2O_3 , що забезпечують високий рівень гідрофобізації цегляної кладки із зменшенням показників водопоглинання, капілярного підтягування та підвищенням атмосферо- і морозостійкості без утворення тріщин. Розроблено модифіковані багатокомпонентні цементи для мурування з пониженим клінкер-фактором (40 %), які дозволяють одержати легковкладальні розчинові суміші, що забезпечують якість цегляної кладки – повнота і рівномірність заповнення швів, дотримання їх раціональної товщини, адгезію розчину, а також міцність, морозостійкість, деформативність і стійкість до висолоутворення зовнішніх стін будівель і споруд.

Ключові слова: керамічна лицьова цегла, поверхнєве модифікування, нано-рідина, модифікований багатокомпонентний цемент для мурування, будівельний розчин, кладка.

АННОТАЦИЯ

Семенов Р. М. Модификация керамического кирпича и строительного раствора наружных стен зданий и сооружений для повышения их эксплуатационной надежности. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. Национальный университет “Львівська політехніка” Министерства образования и науки Украины. – Львов, 2019.

Диссертация посвящена разработке теоретических основ повышения эксплуатационной надежности наружных стен зданий и сооружений путем модифицирования поверхности керамического лицевого кирпича высокоэффективными нано-жидкостями и применения строительного раствора на основе модифицированного низкоэмиссионного многокомпонентного цемента для кладки МС 22,5, что обеспечивает технические, экологические и экономические преимущества. Оптимизированы составы высокоэффективных нано-жидкостей с использованием нано- Al_2O_3 , что обеспечивают высокий уровень гидрофобизации кирпичной кладки с уменьшением показателей водопоглощения, капиллярного подтягивания и повышением атмосферо- и морозостойкости без образования трещин. Разработаны модифицированные многокомпонентные цементы для кладки с пониженным клинкер-фактором (40 %), которые позволяют получить растворные смеси, что обеспечивает качество кирпичной кладки – полнота заполнения швов, соблюдение их рациональной толщины, а также морозостойкость, деформативность и устойчивость к высолообразованию наружных стен зданий и сооружений.

Ключевые слова: керамический лицевой кирпич, поверхностное модифицирование, нано-жидкость, модифицированный многокомпонентный цемент для кладки, строительный раствор, кладка.

SUMMARY

Semeniv R.M. Modification of ceramic brick and building mortar for external walls of buildings and structures to increase their operational reliability. – On the rights of manuscript.

Thesis for candidate degree of engineering science in speciality 05.23.05 – building materials and products. Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and

Science of Ukraine, Lviv, 2019.

The dissertation is devoted to questions of increasing the operational reliability of external walls of buildings and structures. This is achieved by modification of ceramic brick surface by hydrophobic substances of new generation and building mortar on the basis of a low-emission masonry cement with additives of air-tightening action.

An analytical review of literary sources devoted to the current state of problems of brick external walls of buildings and structures is made. The questions connected with principles of modification of ceramic brick and building mortar are considered, as well as theoretical preconditions of research are determined. The characteristics of the materials and the main methods of research used in the work are described.

The results of development and research of physical and mechanical properties of modified ceramic bricks and building mortars are presented. The phase composition and microstructure of the efflorescences from ceramic facing brick and the building mortar were obtained. It is investigated the influence of nano-liquid on the brick properties using the method of orthogonal central composite planning. It has been determined that the most effective hydrophobic substance is modifier containing nano- Al_2O_3 powder. It is established that during surface treatment by nano-liquid (amount of nano- Al_2O_3 – 0,8 %) water absorption decreases to 1.2–1.6 %, capillary suction – to 0.08–0.12 $\text{kg/m}^2\cdot\text{hour}^{0.5}$. The electron microscopy method confirmed that the modification of the ceramic brick surface by the hydrophobizing nano- liquids makes it possible to compact the structure through the colmatation of pores and microcracks, which reduces the capillary suction of the ceramic facing brick. It also results an atmospheric resistance and frost resistance of the ceramic facing brick.

Experimental studies have confirmed that a significant influence on the properties of brick masonry has a binder and building mortar on its basis. Use of low-emission masonry cement MC 22.5 with a reduced clinker factor (40 %), as binder, leads to an increase of salt efflorescence resistant of the brick masonry. Due to modification, a fine-pore microstructure of a cement matrix of building mortar is formed, which impede the process of material destruction. It was established that for mortar mixtures based on MC 22.5, obtained modified building mortars of the design grade for compressive strength M100, which are characterized by increased frost resistance (F75) and atmospheric resistance. It was shown that during the investigation of brick masonry using modified building mortar and ceramic facing brick with nano-liquid, the adhesion strength was 0.73 MPa, the compressive strength – 8.5 MPa. At the same time, the use of a modified mortar based on low-emission masonry cement MC 22.5 and a modified ceramic facing brick by nano-liquid ensures efflorescences resistance of brick masonry.

Nano-liquid was used to protect the surface of brick fencing structures during repairing work. The production of an industrial batch of masonry cement with air-tightening additive EN 413-1 MC 22.5 in the amount of 70 tons was produced at PJSC "Ivano-Frankivsk Cement". During the laying of external walls of low-rise residential development LTD "Pidgaetska building company" was used masonry cement MC 22.5 EN 413-1 in the quantity of 70 tons; economic efficiency is 154.62 UAH per 1 m^3 of mortar.

Keywords: ceramic facing brick, surface modification, nano-liquids, modified multicomponent cement for masonry, building mortar, masonry.