

Міністерство освіти і науки України
Національний університет “Львівська політехніка”

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Семенів Роксолана Михайлівна

УДК 691.421:691.535


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

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії)

Ідентичність усіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради  Холод П.Ф.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Семенів Р.М.

Науковий керівник Кропивницька Тетяна Павлівна,
кандидат технічних наук, доцент

Львів – 2019

АНОТАЦІЯ

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

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.05 «Будівельні матеріали та виробы» (19 – Архітектура та будівництво). – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України. – Львів, 2019.

ЗМІСТ

Дисертаційна робота присвячена питанням підвищення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель і споруд. Це досягається модифікуванням поверхні керамічної цегли гідрофобізуючими речовинами нової генерації і будівельного розчину на основі низькоемісійного цементу для мурування добавками повітровтягувальної дії. Зроблено аналітичний огляд літературних джерел, присвячених сучасному стану проблем цегляних зовнішніх стін будівель і споруд. Розглянуто питання, пов'язані з принципами модифікування керамічної цегли та будівельного розчину, а також визначено теоретичні передумови досліджень. Наведено характеристики вихідних матеріалів, описані основні методики досліджень, використані в роботі.

Наведено результати дослідження фізико-механічних властивостей модифікованої керамічної цегли та будівельних розчинів. Отримано фазовий склад та мікроструктуру висолів з керамічної лицьової цегли та будівельного розчину. Досліджено вплив нано-рідини на властивості лицьової цегли з використанням методу ортогонального центрально-композиційного планування. Встановлено, що найбільш ефективною гідрофобізуючою речовиною є модифікатор, що містить нано- Al_2O_3 . Визначено, що при обробленні поверхні нано-рідиною (кількість нано- Al_2O_3 – 0,8 %) водопоглинання знижується до 1,2–1,6 %, капілярне підтягування – до 0,08–0,12 кг/м²·год^{0,5}. Методом електронної мікроскопії підтверджено, що модифікування поверхні керамічної цегли гідрофобізуючими нано-рідинами

дозволяє ущільнити структуру за рахунок кольматування пор і мікротріщин, що забезпечує зниження капілярного підтягування кладки. Також це призводить до підвищення атмосферостійкості та морозостійкості керамічної лицьової цегли.

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що значний вплив на властивості цегляної кладки має в'язуче у складі будівельного розчину. Використання в якості в'язучого низькоемісійного цементу для мурування МС 22,5 з пониженим клінкер-фактором (40 %) призводить до підвищення висолостійкості цегляної кладки. Встановлено, що завдяки модифікуванню утворюється дрібнопориста мікроструктура цементної матриці розчину, яка перешкоджає процесу руйнування матеріалу. Встановлено, що для будівельних сумішей на основі МС 22,5 отримуються модифіковані мурувальні розчини марки за міцністю М100, які характеризуються підвищеною морозостійкістю (F75) і атмосферостійкістю. Показано, що при дослідженні цегляної кладки з використанням модифікованого будівельного розчину міцність зчеплення становить 0,73 МПа, границя міцності на стиск – 8,5 МПа. У той же час, використання модифікованого розчину на основі низькоемісійного цементу для мурування МС 22,5 та модифікованої нано-рідиною керамічної лицьової цегли забезпечує висолостійкість кладки. 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.

Нано-рідину було використано для захисту поверхні цегляних огорожувальних конструкцій при проведенні ремонтних робіт. На ПрАТ "Івано-Франківськцемент" проведено випуск промислової партії цементу для мурування з повітровтягувальною добавкою МС 22,5 EN 413-1 в кількості 70 тонн. При проведенні мурування стін будинків малоповерхової житлової забудови ТзОВ "Підгаєцька будівельна компанія" використано цемент для мурування МС 22,5 EN 413-1; економічна ефективність – 154,62 грн за 1 м³ розчину. Низькоемісійні цементы дозволяють зменшити емісію CO₂ в 2,5 рази на тонну цементу.

Ключові слова: керамічна лицьова цегла, поверхневе модифікування, нанорідини, модифікований багатокomпонентний цемент для мурування, будівельний розчин, кладка.

Список публікацій здобувача:

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 цементи в технології будівельних розчинів / Т.П. Кропивницька, Г.С. Іващшин, 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 / T. Kropyvnytska, R. Semeniv, M. Chekaylo, A. Kaminskyu // 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.

ANNOTATION

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.

PhD thesis (Doctor of Philosophy) in Engineering sciences by speciality 05.23.05 “Building materials and products” (19 – Architecture and Construction). – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Lviv, 2019.

CONTENT

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 . 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, 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. Nanomodification of the brick masonry surface and the use of an effective mortars based on modified low-emission masonry cement MC 22.5 provides to increased operational reliability of the external walls of buildings and structures.

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 MC 22.5 EN 413-1 in the amount of 70 tons was produced at PJSC "Ivano-Frankivskcement". 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; economic efficiency is 154.62 UAH per 1 m³ of mortar. Low emission cements allows to reduce CO₂ emissions by 2.5 times a ton of cement.

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

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	11
ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	19
1.1 Сучасний стан проблем довговічності зовнішніх стін будівель та споруд.....	19
1.2. Оцінка сучасних гідрофобізуючих речовин та їхній вплив на властивості цегляної кладки	25
1.3. Принципи композиційної побудови модифікованих будівельних розчинів.....	31
1.4 Теоретичні передумови досліджень та наукова гіпотеза.....	37
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	39
2.1 Характеристика матеріалів.....	39
2.2 Фізико-механічні випробування.....	46
2.3 Фізико-хімічні методи досліджень.....	51
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ	52
3.1 Дослідження процесів висолоутворення керамічної лицьової цегли.....	52
3.2 Дослідження впливу модифікуючих речовин на експлуатаційні властивості керамічної цегли.....	57
3.3 Оптимізація складів захисних покриттів для керамічної лицьової цегли	63
3.4. Експлуатаційні властивості керамічної цегли, модифікованої захисними покриттями.....	69
Висновки до розділу	74
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ЦЕМЕНТІВ ДЛЯ МУРУВАННЯ.....	78

4.1 Дослідження процесів висолоутворення будівельного розчину.....	78
4.2 Розроблення та дослідження низькоемісійних багатокomпонентних цементів для мурування МС 22,5	86
4.3 Показники якості будівельного розчину на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5	92
4.4 Показники якості будівельних розчинів на основі модифікованих сумішей для мурування.....	105
4.5 Випробування цегляної кладки з використанням модифікованого будівельного розчину.....	111
Висновки до розділу	115
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ ЗАХИСНИХ НАНОПОКРИТТІВ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ЦЕМЕНТІВ	119
5.1 Використання нанопокриття для захисту поверхні цегляної конструкції	119
5.2 Промисловий випуск цементу для будівельних розчинів МС 22,5	121
5.3 Дослідно-промислова апробація будівельних розчинів на основі цементу для мурування МС 22,5	124
5.4 Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання модифікованого будівельного розчину та керамічної цегли.....	127
Висновок до розділу	130
ВИСНОВКИ.....	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	135
ДОДАТКИ.....	151

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЦБР	– цемент для будівельних розчинів ДСТУ Б В.2.7-124-2004
МС 22,5	– цемент для мурування ДСТУ Б EN 413-1:2015
ГФ	– гідрофобізатор
В/Ц	– водоцементне відношення
РК	– розплив конуса
ПВ	– добавка повітровтягувальної дії
ФК	– форміат кальцію (добавка з протиморозним ефектом)
НГТ	– нормальна густина тіста
РФА	– рентгенофазовий аналіз
РЕМ	– растрова електронна мікроскопія
R_c	– границя міцності на стиск будівельного розчину та керамічної цегли
f_b	– границя міцності на стиск цегляної кладки

ВСТУП

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 значних 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-повітровтягуючої 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 темами, планами, програмами. 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 задачі 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 багатокомпонентних 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;

– запроектувати ефективні склади будівельних розчинів на основі розроблених модифікованих низькоемісійних багатокомпонентних 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 направленої фізико-хімічної модифікації поверхні керамічної лицьової цегли нано-рідинами та будівельних розчинів на основі низькоемісійного багатокомпонентного 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 багатокомпонентного 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 рівномірний та більш щільний 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 багатокomпонентних 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 багатокomпонентних 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 «Структуроутворення, 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 і обсяг роботи. 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.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Сучасний стан проблем довговічності зовнішніх стін будівель та споруд

На сучасному етапі серед загальних вимог до будівель та споруд з керамічної цегли на першому місці є їх довговічність, яка крім наявності вихідних характеристик якості повинна задовольняти вимогам безпеки й експлуатаційної придатності з належним ступенем надійності протягом заданого терміну служби при різних видах впливу, таких як навантаження, кліматичні й технологічні фактори, поперемінне заморожування і відтавання, агресивний вплив та ін. При цьому одним із основних завдань є розроблення, вдосконалення засобів і матеріалів для захисту, ремонту, відновлення, підвищення експлуатаційної надійності і довговічності цегляної кладки зовнішніх стін [3, 4].

На даний час близько 25 % із загального обсягу зведених конструкцій фасадів багатоповерхових і малоповерхових житлових будинків в Україні мають багат шарові зовнішні стіни з цегляної кладки. Незважаючи на те, що за останні роки проведено велику кількість досліджень подібних конструкцій, відсутня належним чином оформлена науково-правова платформа їхньої придатності. Загалом це зумовлено появою інноваційних будівельних матеріалів, конструктивних рішень будівель і прогресивних технологій ведення будівельних робіт. Проте обсяги будівництва житлових мало- і багатоповерхових будинків із подібною конструкцією стін з цегляним облицюванням невпинно збільшуються в усіх регіонах України [51, 94]. Вибір типів зовнішніх і внутрішніх стін кам'яних будівель здійснюють з урахуванням кліматичних умов місця будівництва, наявності місцевих кам'яних матеріалів (керамічної цегли, пустотілих керамічних і бетонних каменів, природних каменів, цегляних панелей і блоків,

теплоізоляційних матеріалів), а також температурно-вологісного режиму приміщень. Найпрогресивнішим є спосіб теплозахисту будівель фасадними елементами з повітряними прошарками, що дозволяє надійно захистити зовнішню стіну від впливу вологого атмосферного повітря, а також від вологи, яка утворюється в конструкції стіни з боку внутрішнього шару під час експлуатації будівлі. Згідно з [32], стіни поділяють за структурою на такі: з суцільної кладки (один вид кам'яного матеріалу); багат шарові, які виконують з двох або більше шарів, з одного або різних матеріалів і з полегшеною кладкою, в якій частину основного несучого матеріалу замінюють повітряним прошарком, теплоізоляційними плитами, камінням, мінеральними засипками тощо. Для досягнення максимального ефекту тепло- та звукоізоляції зовнішньої стіни, її споруджують у два або три шари: перший – несучий шар (несуча стіна з рядової цегли, керамічних блоків, ніздрюватих бетонів тощо); другий шар – теплоізоляційний (утеплювачі з мінеральної вати, пінополістиролу), а третій – фасадний шар (зовнішня (фасадна) кладка із клінкерної або лицьової цегли). Собівартість багат шарової конструкції стіни при зведенні будівель є нижчою, ніж для будівель, теплофізичні характеристики яких досягались збільшенням товщини стіни шляхом викладення з суцільної або порожнистої цегли.

При цьому вартість погонного метра конструкції такої стіни виявляється нижчою на 40–50 %, ніж у разі простого нарощування товщини стіни. Крім цього, за рахунок товщини стіни можна зекономити внутрішній простір у приміщенні та знизити витрати на його опалювання або охолодження [45, 103, 106]. Варто зазначити, що вартість три шарової стіни можна знизити за рахунок матеріалів для зведення будівель і споруд.

Будь яка будівля набуває оригінального архітектурного вигляду із цегляною структурою. Цегляні конструкції – це кладка, яку викладають з будівельного розчину у шви між цеглою. Згідно з ДБН В.2.6-162:2010 кладка – це сукупність елементів кам'яної кладки, розташованих у заданому порядку і з'єднаних цементним розчином. Елементи кам'яної кладки мають певну форму і призначені для використання в кам'яних конструкціях. Відповідно до ДСТУ Б В.2.6–207:2015,

кам'яна кладка містить елементи, розташовані у заданому порядку і з'єднані розчиною сумішшю. Для влаштування і розшивки швів кладки використовують будівельний розчин (суміш одного або декількох неорганічних в'язучих речовин, наповнювачів і води, а також, у деяких випадках, – добавок і домішок). Елементи кам'яної кладки повинні відповідати типу кам'яної кладки, її розташуванню та вимогам щодо довговічності.

Для облицювання зовнішніх огорожувальних конструкцій, зведення архітектурних споруд, а також при ремонті або реконструкції житлово-громадських і промислових будинків широко використовується керамічна клінкерна та лицьова цегла [41, 92, 95]. Сьогодні надзвичайно актуальним є розвиток енергоефективного будівництва; при цьому високі експлуатаційні властивості зовнішніх стін забезпечує конструкція багатошарової стіни з використанням керамічної клінкерної цегли як декоративного захисного шару. В той же час, керамічна клінкерна цегла вимагає високоякісної сировини та підвищеної температури випалу, що призводить до суттєвого збільшення її вартості. Тому для спорудження фасадного шару тришарової стіни допускається використання керамічної лицьової цегли. Разом із тим, підвищені показники пористості лицьової цегли сприяють проникненню води у капілярно-пористу структуру матеріалу, що призводить до зниження експлуатаційних властивостей кладки. З іншого боку, для виготовлення лицьової керамічної цегли можуть використовувати неякісну сировину – місцеві низькосортні глини, які містять водорозчинні сульфати та хлориди лужних і лужноземельних металів, що призводить до утворення висолів на поверхні стін [8, 21, 42, 93]. А. П. Приходько, Н. В. Шпирько, Н. С. Сторчай [87] зазначають, що підвищити міцнісні характеристики керамічної цегли на низькосортній сировині можна шляхом використання місцевої силікатовмісної сировини, яка є в достатній кількості в промислових відходах і супровідних продуктах промисловості будівельних матеріалів [88].

Зволоження будівельних матеріалів є однією з основних причин зниження довговічності будівель і споруд та збільшення експлуатаційних витрат, пов'язаних

з підтриманням температури в приміщеннях, ремонтом і відновленням конструкцій. Пориста структура керамічної лицьової цегли сприяє дифузії лугів з цементних розчинів, що підсилює деструктивний вплив на кладку і знижує її технічні та декоративні властивості [52, 86, 109]. Характерно, що висоли проявляються на кладці у разі використання розчинів на основі портландцементів з підвищеним вмістом клінкеру та додаванням вапна з утворенням нерозчинних карбонатно-кальцієвих виквітів [119, 125, 149]. Вільна вода з мурувального розчину, проникаючи в цеглу, розчиняє солі з подальшою кристалізацією висолів не тільки на поверхні, але і в поровому просторі, що призводить до виникнення тріщин і руйнування цілісності самої кладки [6–9]. Підвищена пористість керамічної лицьової цегли та будівельного розчину призводить до інтенсивного проникнення та підтягування вологи через пористу структуру кладки стін, що спричиняє міграцію розчинів солей і утворення кристалів у вигляді локальних білих плям, різного ступеня поширеності та інтенсивності. Варто зазначити, що висоли несуттєво впливають на довговічність матеріалу, проте їх наявність вказує на проникнення вологи через шар стіни [1, 26, 55, 71, 142]

Дослідження D. Benavente [105] показують, що кристалізаційний тиск розчинних солей є одним із найважливіших процесів руйнування, який впливає на довговічність керамічних матеріалів. Частота кристалізації солей залежить від структури пор, ступеня їх насичення та величини сили відштовхування. Структура пор має значний вплив на кристалізацію солей, включаючи зародження і осадження, ступінь насичення капілярними розчинами, випаровування вологи та цикли змочування та сушіння. Разом з тим, G. Volte, H. Brocken [108, 110] встановили, що є три основні передумови для виникнення висолів, які визначають наявність водорозчинних речовин, наявність води для перенесення їх на поверхню, наявність капілярних каналів, у яких утворюється дифузійний тиск, і, як наслідок, водорозчинні речовини виносяться на поверхню цегляної кладки у вигляді тонкошарового білого нальоту.

Як зазначає H. Brocken [110], висоли на кладці утворюються (гідратованими) Na^- , K^- , Ca^{2+} -сульфатами і карбонатами або іншими солями. Такі солі можуть

виділятися на поверхні кладки з керамічної цегли, будівельного розчину, а також за рахунок підтягування з ґрунту. У керамічній цеглі сульфати утворюються під час процесу випалу і можуть дисоціювати, зокрема Na_2SO_4 , K_2SO_4 , за температури спікання понад $950\text{ }^\circ\text{C}$, а CaSO_4 – залишатися стабільними до температури $1050\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$ [102, 127]. З іншого боку, висоли на основі сульфату кальцію на поверхні кладки утворюються з будівельних розчинів за рахунок вмісту гіпсу у в'язучому. Крім цього, проходить вимивання $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з будівельного розчину на поверхню кладки, що внаслідок його карбонізації призводить до утворення виквітів – кальциту (CaCO_3). Не менш значимим фактором висолоутворення з розчину є вміст лугів у цементі, в тому числі водорозчинних [96, 99]. Іншим важливим фактором висолоутворення є також капілярне підтягування (вологісний стан стіни зменшується в напрямку «знизу – вгору», а також із середини стіни до її зовнішніх поверхонь) розчинів солей з ґрунту. Так, постійно діючий механізм капілярного підтягування ґрунтових вод також призводить до накопичення солей в стінах будівель і споруд [57–60, 73].

За рахунок поперемінного зволоження–висушування, замерзання–відтавання руйнується структура матеріалів, відбувається утворення усадкових і морозних тріщин; в результаті зволоження знижується опір теплопередачі, порушується температурно-вологісний режим конструкції. Практично неминучі такі явища, як промерзання кутів і стиків, відшарування оздоблювальних шарів. Розчинні речовини в складі будівельних розчинів і керамічної цегли, які в процесі природного осушення стіни виносяться у вигляді водних розчинів з наступною кристалізацією на зовнішню поверхню, формують картину висолоутворення [13–16, 156].

Кам'яна конструкція крім висолостійкості повинна також відповідати підвищеним вимогам несучої здатності та довговічності. Відповідно до цього кам'яну конструкцію необхідно розглядати як систему, що складається з пористих будівельних матеріалів, на яку впливають атмосферні опади і знакозмінні температури, що сприяє інтенсивній міграції води і агресивних речовин та призводить до деструкції матеріалів, особливо в умовах від'ємних температур.

Зазначені фактори є основними причинами руйнування керамічних стінових матеріалів [10, 122].

Згідно з [22], кам'яна конструкція одночасно схильна до вертикального і позацентрового стиску, згину, зрізу і розтягування. Основними причинами напружено-деформованого стану кам'яної кладки є неоднорідність укладання розчину та наявність вертикальних швів у кладці, а також суттєва відмінність деформативних властивостей цегли і розчину. З огляду на локальну неоднорідність складу розчину, умови твердіння в шві та нерівномірність обтиску цегли на всій постелі, в кладці утворюються ділянки розчину, які значно відрізняються один від одного за середньою густиною та міцністю. Крім того, значення деформативних параметрів будівельного розчину більші, ніж у цегли. У напруженому стані в цеглі виникають розтягуючі зусилля, а у розчині – стискаючі. Величина навантаження, за якої з'являються перші тріщини, залежить від механічних властивостей цегли, конструкції кладки і деформативних властивостей розчину, тобто від виду розчину і його терміну експлуатації (віку кладки). Зі збільшенням останнього деформативність розчину знижується. Час появи перших тріщин залежить від якості виконання горизонтальних швів і середньої щільності застосовуваного розчину [85, 90].

Залежно від умов експлуатації, довговічність керамічної лицьової цегли оцінюють за багатьма чинниками [73, 93]. Під дією атмосферних факторів і механічного навантаження керамічна лицьова цегла втрачає свої споживчі властивості. Пористість керамічної лицьової цегли має значний вплив на її стійкість до дії атмосферного середовища (зволоження та висушування, замерзання та відтавання). Під час багаторазового насичення протягом тривалого часу керамічні вироби зазнають певного переродження та втрачають міцність, що спричинено послабленням зв'язку між фазами в структурі матеріалу, утворенням мікрощілин і мікротріщин, які стають причиною подальших руйнувань і, як наслідок, підвищеної його крихкості [37, 42]. Водонепроникність керамічних виробів збільшується за наявності в них пор неправильної форми, подовжених, які з'єднуються між собою або розташовані ланцюжком [35, 47, 157].

Показники пористості і розмір пор здійснюють значний вплив на морозостійкість керамічного матеріалу [77–79]. Варто зазначити, що вміст закритих пор більшого діаметру забезпечує вищі значення морозостійкості, оскільки заповнення крупніших пор меншою кількістю води створює можливість компенсації напруження у матеріалі, що викликане одностороннім тиском об'єму води під час замерзання до 9 % і всестороннім гідростатичним тиском. Доведено, що із збільшенням числа циклів заморожування і відтавання відбувається розвиток тріщин, які утворилися за рахунок з'єднання їх із закритими порами, що супроводжується підвищенням загальної пористості матеріалу і зниженням його міцності, а це призводить до різкого підвищення швидкості руйнування матеріалу в результаті втоми під дією циклічних навантажень [81, 92, 150].

Отже, на міцність при стисненні кладки з цегли і каменю впливають такі чинники: параметри якості цегли (вид, розміри, правильність геометричної форми, наявність пустот, міцність і пористість); параметри якості кладки розчинової суміші (легкоукладальність, розшаровуваність, водоутримуюча здатність) і розчину (міцність, морозостійкість, середня густина, адгезійні та пружно-пластичні властивості); технологія зведення кам'яної конструкції (якість і перев'язка кладки, ступінь заповнення розчином вертикальних і горизонтальних швів). Міцність цегли і розчину, розміри і форма цегли мають вирішальне значення для формування міцності (несучої здатності) кладки. Тому для забезпечення експлуатаційної надійності кладки необхідно досліджувати керамічну цеглу та будівельний розчин, який з'єднує елементи цегли в кладку.

1.2. Оцінка сучасних гідрофобізуючих речовин та їхній вплив на властивості цегляної кладки

Довговічність керамічних цегляних конструкцій залежить від їхнього складу та стабільності фізико-хімічних властивостей залежно від рівня впливу факторів

навколишнього середовища. У процесі експлуатації цегляних споруд за зміни температури та вологості виникають дефекти, які суттєво погіршують архітектурну виразність і негативно впливають на фізико-технічні властивості мурованих фасадів. Згідно з EN 771-1:2003 цегла – це штучний виріб, що використовується для мурування стін будівель [30]. Класифікація цегли згідно з ASTM C 216 містить клас, тип, застосування та використання виробу [101], а згідно з ДСТУ Б В.2.7-61:2008 (EN 771-1:2003, NEQ), керамічні вироби класифікують за такими основними ознаками: призначенням, наявністю порожнин, міцністю, розмірами, морозостійкістю, середньою густиною, теплотехнічними властивостями та радіоактивністю.

Дослідники, які займаються вивченням причин руйнування будівельних матеріалів [23, 43, 46], зазначають, що практично всі процеси деструктивних явищ конструкційних елементів будівлі пов'язані з впливом на них вологи, що зумовлено їх гідрофільністю та високою здатністю впливу сольових водних розчинів на капілярно-пористу структуру матеріалу. Аналіз літератури [97, 132, 139] показує, що підвищення довговічності керамічної цегли пов'язане з її захистом від проникнення води.

Для покращення експлуатаційних властивостей та підвищення довговічності цегляної кладки будівель і споруд широко застосовується метод поверхневого оброблення поверхні гідрофобізуючими речовинами. Види гідрофобізуючих речовин для захисту цегли визначаються складовими компонентами. Серед сучасних гідрофобних матеріалів можна виділити різного роду поліорганосилоксани: рідини (поліметил-поліметилгідридсилоксани), алкілсиліконати лужних металів, смоли (поліметилфенол- і поліметилсилоксан), а також композиції на їх основі і еластомери. На ринку широко представлені гідрофобізуючі речовини виробництва HENKEL BAUTECHNIC (Німеччина), THORO (Бельгія), SİKA, «Кремнійполімер» (Україна), ESKARO (Естонія), ФАСАД (Україна) та ін.

Спеціальні просочуючі матеріали здатні захистити цегляну конструкцію, впливаючи на структуру поверхні керамічної цегли. Гідрофобізуюча речовина –

продукт, призначений для оброблення поверхонь, який забезпечує їхню водонепроникність і захист від агресивних середовищ. Проведені дослідження П. В. Захарченко та ін. [38, 40] щодо впливу гідрофобних захисних покриттів на фізико-технічні та фізико-хімічні параметри стінових матеріалів свідчать, що гідрофобні покриття на основі поліорганосилоксанів не змінюють натурального кольору виробів, не впливають на паропроникність, знижують агресивну дію атмосферних впливів на матеріали, гальмують вихід водорозчинних солей на поверхню виробів, забезпечують опір впливу ультрафіолетових променів, значно збільшують водонепроникність, забезпечуючи довговічність конструкції у період її експлуатації.

У роботах М. М. Гивлюда, В. А. Свідерського та ін. [63–65, 76, 157] зазначена перспективність використання кремнійорганічних покриттів для поверхневого захисту матеріалів різного походження, хімічного складу та ступеня деформативності. Оскільки керамічна лицьова цегла є доволі недорогим будівельним матеріалом, комерційно успішне гідрофобне покриття має бути простим і невисокої вартості. При цьому такі речовини з фіксованими показниками хімічних та фізичних властивостей є недостатньо ефективними, особливо при дії знакозмінних температур [77–79].

Авторами J. Šadauskienė, J. Ramanauskas, V. Stankevičius [146] визначено, що гідрофобізація – це процес, під час якого із застосуванням відповідних хімічних речовин гідрофільна поверхня матеріалів набуває гідрофобних властивостей. Довговічність оброблених поверхонь залежить від їхнього хімічного складу, умов полімеризації, класу гідрофобізуючої речовини, формування взаємозв'язку між модифікатором і матеріалом, а також глибиною сорбції та оптимальною кількістю гідрофобізатора. Під час взаємодії активних груп гідрофобізатора з гідроксидними групами поверхні матеріалу утворюється тонкий шар полімерів у верхній і нижній частині. Проте відомо, що силікони не утворюють однорідну плівку на поверхні матеріалу, не покривають всі пори, а, отже, не можуть повністю перешкоджати міграції води. Авторами [146] запропоновано гідрофобний кремнієвий матеріал Wacker S15 для оброблення кладки. Встановлено, що при просоченні гідрофобним

матеріалом Wackar S15 зменшується водопоглинання керамічної цегли, проте незначною мірою змінюється водопоглинання цегляної кладки, а також знижується її морозостійкість через неоднорідний вплив гідрофобізації на поверхню цегли і кладки, що зумовлено різною щільністю цегли та будівельного розчину. Це свідчить, що неправильно підібрані гідрофобні матеріали можуть погіршити міцність цегляної кладки, змінюючи баланс між просочуванням і висушуванням [27].

Основні види просочувальних речовин, які використовують для оброблення керамічних матеріалів, характеризуються переважно гідрофобізуючою дією, що має незначний вплив на проникність матеріалу до газів, парів та рідин. Тому доцільно застосовувати такі захисні покриття, що не лише гідрофобізують поверхню матеріалу, стінки пор та капілярів, але й впливають на саму пористість матриці, яка просочується, внаслідок кольматації пор і тріщин [36, 37, 53, 126]. Кольматуючий ефект можуть мати полімерні силіційорганічні сполуки, модифіковані оксидними та мінеральними речовинами різного хімічного походження [66, 113, 116]. Проте системні дослідження впливу складу просочувальних матеріалів на атмосферостійкість та довговічність будівельних матеріалів, зокрема керамічної цегли, практично відсутні, що стримує їх широке впровадження.

При модифікуванні керамічної цегли гідрофобізуючими речовинами на основі акрилових полімерів її технічні характеристики підвищуються, зокрема, показники водопоглинання та капілярної дифузії зменшуються, при цьому споживчі властивості знижуються. Дослідженнями S. Fic, A. Szewczak, D. Barnat-Hunek [144] показано, що враховуючи вплив вологи та підвищеної температури одержання керамічного матеріалу, необхідно також враховувати ефект Ребіндера – явище, що передбачає зміну (у випадку пористих матеріалів – зменшення) густини поверхневої енергії у твердій фазі (цегли) в результаті адсорбції активної речовини (води). При цьому вплив води сприяє створенню додаткових мікро-подряпин і тріщин на поверхні цегли. Гідрофобізуючі речовини, що характеризуються найвищою ефективністю, переважно містять полімерні та нанополімерні сполуки

(залежно від розміру частинок), виготовлені на основі силіконів, силанів та силоксанів [80, 129, 157]. Розмір частинок кремнійорганічних сполук впливає на глибину і швидкість проникнення в структуру матеріалу. Силіконові смоли характеризуються найбільшими частинками, що приблизно в 100 разів перевищують частки силоксанів [82–84]. У керамічній цеглі з шорсткою поверхнею, обробленій нанополімерно-гідрофобними рідинами, поверхневий шар підкріплюється утворенням поверхневої плівки; в цьому випадку мікротріщини виникнуть як у поверхневому шарі, так і досягнуть певної глибини всередині зразка. Подальша деструкція матеріалу відбувається, якщо верхній шар матеріалу розпушується і його внутрішній шар піддається подальшій дії навантажень. Це вимагає регулювання складу нанополімерного покриття і дослідження впливу кількості його нанесення для ефективного захисту шорсткої поверхні керамічних матеріалів.

Відповідно до численних досліджень, проведених, зокрема, Hazlett, Baldan, Kuczmaszewski, Rudawska [129] показано, що проникнення нанополімеру в цегляну поверхню відбувається перш за все через механічне зчеплення, яке впливає на реологічні властивості просочення, шорсткість та структуру гідрофобної поверхні, а також товщину сформованого шару, а глибина порожнин – на міцність адгезійного з'єднання. Процес проникнення полімеру в капілярну структуру пористих матеріалів, можна описати законом Гагена-Пуазейля та рівнянням капілярного тиску. Тому важливою проблемою збереження необхідних експлуатаційних властивостей цегли, обробленої захисними речовинами, є вибір типу наповнювача, який сумісний з хімічним складом полімеру та матриці цегли. Деструкція плівки на поверхні керамічної цегли в кінцевому підсумку призводить до руйнування матеріалу.

Сьогодні для підвищення функціональних властивостей будівельних матеріалів і виробів новим перспективним напрямом в науці є використання нанотехнологій, які передбачають створення нових матеріалів, пристроїв та систем на молекулярному, нано- і мікрорівні [39, 111, 112, 152]. Це одна з найбільш активних областей досліджень, що охоплює ряд дисциплін, зокрема, будівництво.

Штучно виготовлені нанорозмірні частинки та компоненти наномасштабної системи володіють новими властивостями, які мають важливе значення для розробки нових продуктів та додатків [136, 145, 154].

Унаслідок здатності до утворення мікротріщин у звичайних цементних розчинах, а також одержання їх низьких показників міцності на розтяг, традиційна цементна система не забезпечує необхідної довговічності. Дослідження, проведені R. Mahyuddin та ін. [135, 151] показали, що змішані з полімером цементні розчини сприяють підвищенню проникності цементної матриці і значно покращують їхню міцність і довговічність. Як зазначено у роботах P. Sikora та ін. [148], введення наночастинок SiO_2 сприяє підвищенню механічних властивостей розчинів.

Дослідженнями G. Risha, D. Sundaram та H. Mohammedin [114, 120] визначено ефективність захисту поверхонь нано-рідинами, що дає змогу зменшити водопоглинання, коефіцієнт проникності та підвищити водонепроникність конструкцій. G. Kamal показав, що нано-рідина не впливає на міцність при нанесенні на поверхню затверділого бетону. Водночас, коефіцієнт проникності зменшується на 40–65 %, водопоглинання – на 10 %, а також покращується зносостійкість [130].

Дослідженнями A. Nazari та ін. [138] показано, що використання до 2,0 мас.% наночастинок Al_2O_3 дозволяє отримувати бетон підвищеної міцності та водонепроникності при твердненні в насиченій вапном воді. Висока дія тонких наночастинок істотно збільшує кількість гелю C–S–H. Крім цього, наночастинки Al_2O_3 здатні діяти як нанонаповнювачі і відновлювати структуру пор шляхом зменшення кількості крупніших пор. Результати рентгенівської дифракції вказують на те, що наночастинки Al_2O_3 впливають на покращення механічних та фізичних властивостей зразків. При цьому введення наночастинок Al_2O_3 призводить до збільшення водопотреби та необхідності введення пластифікаторів. Дослідження Ç. Demirba, A. Auyay [118] показують, що покриття, приготовані в силікатному розчині з нанодобавками Al_2O_3 і TiO_2 є подібними, однак згідно РФА, рефлексна інтенсивність збільшується і спостерігається для Al_2O_3 , що вказує на те, що наночастинки Al_2O_3 проникають у підготовлені керамічні покриття. Поверхня

покриття на основі нано- Al_2O_3 стала щільнішою і гладкою, а кількість пор зменшилася. Можна зробити висновок, що додавання нанопорошку відіграє важливу роль у виготовленні керамічних покриттів з низькою пористістю [48, 131, 155].

Нанотехнології відкривають нові можливості для створення матеріалів із заданими властивостями. Отримання сучасних керамічних стінових матеріалів з використанням наномодифікаторів дозволяє підвищити фізико-технічні показники будівельних матеріалів, зменшити показники водопоглинання та коефіцієнт проникності, а також підвищити довговічність. У той же час, вода проникає в цегляну кладку крізь тріщини з шириною розкриття 3–5 мм між цеглою та будівельним розчином. Тому для підвищення експлуатаційної надійності цегляної кладки зовнішніх стін необхідно дослідити технологічні та будівельно-технічні властивості будівельних розчинів як основного з'єднувального матеріалу цегляної кладки.

1.3. Принципи композиційної побудови модифікованих будівельних розчинів

Одним із головних завдань у сучасному будівництві є створення багатокомпонентних композиційних складних матеріалів з покращеними властивостями. Прогнозування експлуатаційних характеристик таких матеріалів можна здійснювати з урахуванням вихідних компонентів, особливостей композиційної побудови, технології їх отримання [18, 67].

Важливою складовою цегляних конструкцій є будівельний мурувальний розчин, що з'єднує елементи цегли в кладку. Для будівельних розчинів основними показниками є рухомість, водоутримувальна здатність, розшарованість розчинової суміші та міцність розчину. Як зазначає Ю. М. Баженов [2], будівельні мурувальні розчини можна представити як гетерогенні матеріали, що складаються з матриці та

включень (дрібних заповнювачів). Традиційний будівельний розчин – це штучний кам'яний матеріал, отриманий в результаті тверднення розчинової суміші, що складається з в'язучої речовини, води, піску і добавок, які покращують властивості розчинових сумішей і затверділих розчинів [28, 49, 50, 56].

Важливе значення при зведенні цегляного муру має легковкладальність розчинової суміші. Пластичні суміші краще розстеляються по постелі цегли, забезпечують рівномірну товщину і щільність шва. Це дозволяє підвищити міцність кладки за рахунок зменшення напруження при вигині та зрізі в окремих цеглинах. Л. Й. Дворкін [24] і В. І. Гоц [19, 20] зазначають, що складні розчини на основі портландцементів загальнобудівельного призначення з добавкою вапна, як правило, характеризуються значним водовідділенням, розшаровуються, нерівномірно вкладаються на поверхню кладки, що призводить до підвищення усадкових деформацій, тріщино- і висолоутворення.

Одним із базових принципів створення будівельних розчинів високої функціональності є використання хімічних добавок пластифікуючої та повітровтягувальної дії. Згідно з роботами S. Chatterji та ін. [54, 107] введення повітровтягувальних добавок призводить до покращення технологічних властивостей розчинових сумішей та експлуатаційних показників затверділих розчинів. Водночас, використання повітровтягувальних добавок у будівельних розчинах виключає введення до їх складу вапна, що забезпечує підвищені показники морозостійкості кладки без висолоутворення [121, 137].

Результати досліджень [134, 143] свідчать, що добавки повітровтягувальної дії зумовлюють утворення в розчиновій суміші значної кількості еластичних повітряних бульбашок, що рівномірно розподілені в цементному тісті. Сферичні бульбашки в свіжоприготованій розчиновій суміші зменшують внутрішнє тертя, пластифікують та запобігають розшаруванню її складових. Завдяки аерації будівельний розчин характеризується меншим водовбиранням, є стійкішим до дії атмосферних впливів та багатократних циклів заморожування, оскільки вода, що замерзає в капілярах, може втискатися в порожні бульбашки, які запобігають розтріскуванню, виконуючи роль “амортизаторів” – демпферів напружень.

Використання модифікованого мурувального розчину робить кладку, зокрема, цегляну стіну стійкою до появи тріщин [128, 150].

Дослідженнями R. Gagné [124] показано, що підвищений вміст повітря модифікує реологію суміші та підвищує довговічність матеріалу до циклів заморожування та відтавання. Формування системи повітряних замкнених пор в матриці розчину залежить від загального об'єму втягнутого повітря, діаметру пухирців, коефіцієнту відстані ($1/2$ відстані між двома пухирцями повітря) та середнього об'єму поверхні. Як і частинки цементу, захоплені дрібні пухирі повітря мають діаметр від 1 до 100 мкм і навпаки, крупно закупорені повітряні бульбашки характеризуються діаметром наближеним до зерен піску. Параметри складу, зокрема тип цементу, консистенція суміші, вид пластифікатора, наявність додаткових цементуючих матеріалів, використання інших типів домішок, змішування та транспортування впливають на захоплення повітря. При цьому, підвищений вміст повітровтягувальних добавок призводить до зниження середньої густини та міцності розчинів, що впливає на запроєктовану марку їх міцності.

Варто зазначити, що наповнення порожнин піску в будівельних розчинах традиційними портландцементами є економічно недоцільним. Так, у роботі А. А. Пашенка, Е. А. Мясникава, М. А. Саницького та ін. [74, 75] запропоновано використання багатокомпонентних цементів. Низькоенергоємні цементи (клінкер фактор – 60–30 %) є одним із пріоритетних напрямків у технології виготовлення будівельних розчинів. Згідно з Цембюро [154], дорожня карта сектору цементу низькоемісійної економіки ЄС до 2050 року передбачає п'ять напрямків розвитку цементної галузі, один з яких визначає застосування нових видів низькоемісійних цементів. Як зазначається в роботах М. Muller [140], М. А. Саницького та ін. [147], багатокомпонентні цементи дозволяють балансувати між окремими перевагами і недоліками основних складників, отримувати ефективні в'язучі системи, зберігати невідновлювальні природні ресурси, зменшувати емісію CO_2 .

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-124-2004, цемент для будівельних розчинів є продуктом сумісного помелу портландцементного клінкеру (не менше ніж 20 мас.%), активних мінеральних добавок, добавок-наповнювачів і добавки матеріалу, що містить

сульфат кальцію і призначений для будівельних розчинів, які застосовуються під час проведення мурувальних, облицювальних і робіт, а також може використовуватись для виготовлення неармованих низькомарочних бетонів, морозостійкість яких не регламентується. Варто зазначити, що це низькомарочні цементы, які характеризуються маркою за міцністю на стиск М200, М300 і М350.

У Європі для виготовлення будівельних розчинів використовують цементы для мурування, що складаються з портландцементного клінкеру та неорганічних складників (природних мінеральних матеріалів; гашеного вапна; компонентів, зазначених в EN 197-1, неорганічних пігментів). Згідно з ДСТУ Б EN 413-1:2015, цемент для мурування позначається символом МС (Masonry Cement) і визначає три класи міцності – 5; 12,5 та 22,5 [34, 35]. Для цементу типу МС 5 вміст портландцементного клінкеру повинен становити не менше ніж 25 мас.%, для цементів типів МС 12,5Х і МС 22,5Х – не менше ніж 40 мас.%. ДСТУ Б EN 413-1:2015 передбачено виготовлення цементу для мурування з вмістом добавки повітровтягувальної дії (до 1 %) типів МС 12,5 і МС 22,5. Багатокомпонентність складу таких низькоемсійних цементів дає змогу ефективно управляти процесами структуроутворення цементної матриці розчину та отримувати композити з попередньо заданими властивостями [98].

В якості додаткових цементуючих матеріалів допускається застосування мінеральних добавок гідравлічної (гранульований доменний шлак) і пуцоланічної (зола винесення, мікрокремнезем, цеоліти та ін.) дії, а також карбонатні мікронаповнювачі. Як зазначають В. А. Волженський. [133] та Х. С. Соболев [29], введення до складу портландцементу пуцоланових добавок природного походження призводить до зростання водопотреби в'язучого, сповільнення набору його міцності та погіршення морозо- та атмосферостійкості. Дослідження М. А. Саницького, Х. С. Соболев та ін. [12, 44], свідчать, що пуцоланові добавки штучного (зола винесення, мікрокремнезем) та природного (цеоліт) походження за рахунок пуцоланової взаємодії з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ сприяють утворенню додаткових гідратних фаз (С-S-H), які ущільнюють порову мікроструктуру цементної матриці та забезпечують зростання міцності з часом тверднення. К. К. Пушкарьова та ін.

[69, 70] зазначають, що введення в цементно-шлакову систему природних цеолітів дає змогу зв'язати вільні луки (Na, K) в нерозчинні гідроалюмосилікати і складні неорганічні комплекси, що є гарантією довговічності гідроізоляційного покриття. Згідно з дослідженнями А. А. Плугіна та ін. [17, 62, 123, 153], добавка дисперсного кальциту, що має переважно позитивний поверхневий заряд, сприяє збільшенню кількості електрогетерогенних контактів у контактній зоні між цементом, дисперсною добавкою, кварцовим заповнювачем і скловолокном, що у свою чергу зміцнює контактну зону і створює можливість найповнішого зрощення кристалів гідратних новоутворень з кальцитом і кварцом.

В країнах ЄС основним виробниками спеціальних цементів (Lepo®, Multibat) є концерни Grupie Lafarge та CRH. Цементи типу LEPO (Чехія) та Multibat (Польща) забезпечують будівельний розчин високою пластичністю з подовженою життєздатністю зі збереженням проектних властивостей. Це інноваційний цемент для мурувальних розчинів, який не потребує додавання вапна або пластифікаторів в складі розчинів. Ці цементи забезпечують високу працездатність розчину, зокрема кладки, завдяки чому прискорюється темп будівництва, знижуються виконавчі та матеріальні витрати, що виникають під час мурувальних робіт. Введення повітровтягувальних добавок сповільнює як раннє структуроутворення, так і приріст міцності в пізні терміни тверднення. Цей фактор вимагає пошуку шляхів активації системи «цемент – повітровтягувальна добавка». Дослідженнями Л. Г. Шпинової, В. І. Чиха, М. А. Саницького та ін. [100] запропоновано використання в розчинах добавок-прискорювачів, що є одним із ефективних шляхів прискорення тверднення.

Доцільність використання таких в'язучих з підвищеним вмістом активних мінеральних добавок гідравлічної та пуцоланічної дії дає змогу ефективно управляти процесами структуроутворення цементної матриці розчину та отримувати матеріали з попередньо заданими властивостями. Результати досліджень в області технології будівельних розчинів свідчать, що створення модифікованих мурувальних розчинів, які характеризуються покращеними

показниками якості, може досягатися шляхом їх модифікування комплексними хімічними добавками поліфункціональної дії.

Сьогодні основними конкурентами аналогами для традиційного будівельного мурувального розчину є розчини, виготовлені за технологією сухих будівельних сумішей. Основи цього напрямку, а саме технології сухих будівельних сумішей, були закладені фундаментальними дослідженнями Р. Ф. Рунової [11] та Х. С. Соболя [29]. Перевагами сухої будівельної суміші для мурувальних робіт є зменшення відходів під час використання, виключення необхідності перевезення води, яка входить до складу розчину, усунення втрат екзотермічної теплоти при транспортуванні та ліквідації необхідності підігріву піску і води при приготуванні розчину в зимовий період, забезпечення стабільних міцнісних показників. Готові будівельні розчини широко використовують у технології будівництва завдяки меншій собівартості, можливості використання у товстіших шарах (суха будівельна суміш для кладки може накладатися лише товщиною 1–5 мм), можливості використання за температур, нижчих +5 °С, повній готовності на момент доставки на будівельний майданчик [61, 72, 91].

Фізико-хімічне модифікування мурувальних розчинів високоефективними комплексними аераційними добавками та застосування низькоемісійних багатокомпонентних цементів стає одним із основних напрямків вирішення проблеми підвищення ефективності мурувальних робіт на сучасному етапі. Введення хімічних добавок здатне суттєво змінити технологічні властивості будівельного розчину за рахунок синергетичного поєднання окремих компонентів і дає змогу направлено регулювати параметри системи на стадії взаємодії цементу з водою, що є обов'язковою умовою створення сучасних будівельних матеріалів із заданими будівельно-технічними характеристиками для забезпечення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель і споруд [141].

1.4 Теоретичні передумови досліджень та наукова гіпотеза

Для облицювання зовнішніх огорожувальних конструкцій, зведення архітектурних споруд, а також при ремонті або реконструкції житлово-громадських будинків широко використовується керамічна лицьова цегла. Дослідження О. О. Пащенко, М. В. Шпирько, Н. С. Сторчай, Л. П. Черняк, D. Benavente, H. Brocken, T.G. Nijland, R. van Hess та ін. показали, що такий штучний камінь за своєю внутрішньою структурою є неоднорідним і пористим матеріалом. У процесі експлуатації це призводить до проникнення вологи у поверхневі і в глибші шари кладки, руйнуючи її, особливо під час впливу понижених додатних та від'ємних температур. З іншого боку, відбувається 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 у 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 із тим, дослідженнями Іу. Ginchitskaia, S. Nilpairach, J. Zach показано, що такі речовини, особливо поліорганосилоксани, не забезпечують необхідної атмосферо- і морозостійкості лицьової цегли.

Покращення експлуатаційних властивостей будівельних матеріалів значною мірою досягається за рахунок модифікування їхньої структури нанодобавками (В. М. Дерев'янку, К. К. Пушкарьова, К. Соколев, 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 як наповнювач у нанопокриттях (А. Ауday, С. Demirba). Разом із

тим, проведені дослідження не дозволяють повною мірою оцінити дію таких 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.), які характеризуються достатньою щільністю, міцністю зчеплення з основою та проектною маркою міцності. Унаслідок 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 іншого боку, застосування традиційних розчинів призводить до утворення висолів на поверхні стін. З метою покращення технологічних властивостей мурувальних розчинів до їх складу вводять добавки повітровтягувальної дії, які дозволяють підвищити стійкість до дії багатократних циклів заморожування, виконуючи роль «демпферів напружень».

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

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика матеріалів

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». Фізико-технічні показники керамічної клінкерної цегли ККл/ОбПрОс/1НФ та керамічної лицьової цегли КЛПр-1НФ наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Фізико-технічні показники керамічної клінкерної та лицьової цегли

Показники	ККл/ОбПрОс/1НФ		КЛПр-1НФ	
	Вимоги згідно з ДСТУ Б В.2.7-245	Значення	Вимоги згідно з ДСТУ Б В.2.7-61	Значення
Середня густина, кг/м ³	≥1000	1450	1001-1400	1300
Водопоглинання за масою, %	≤6	5,04	≥6	8,15
Границя міцності при згині, МПа	-	4,1	≥2,1	2,12
Границя міцності при стиску, МПа	≥30,0	32,3	≥15,00	16,81
Марка за міцністю	М300	М300	М150	М150

Результатами досліджень встановлено, що керамічна клінкерна та лицьова цегла за середньою густиною, водопоглинанням та міцністю відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-245:2010 та ДСТУ Б В.2.7-61:2008 відповідно. Керамічна лицьова цегла відноситься до ефективної групи виробів за теплотехнічними властивостями.

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.

ГФ-1 – гідрофобізуюча речовина на основі водного розчину кремнієвої смоли; водовідштовхувальний ефект настає протягом 24 год (у цей час поверхня повинна бути захищена від вологи). Гідрофобізатор наноситься рівномірно на чисту, суху поверхню за допомогою щітки, валика або розпилювача в два шари «мокрим по мокрому» з інтервалом нанесення 5–10 хв при температурі від -10 °С до +30 °С. Основні характеристики гідрофобізатора наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Технічні характеристики ГФ-1

Консистенція	Колір	Густина, г/см ³	Термін придатності, міс.
Рідина	Безколірний	1,05–1,07	18 місяців при t° -60°C до +50°C

ГФ-2 – спеціальний гідрофобізуючий засіб для просочення на основі акрилових полімерів, який призначений для захисту кам'яних, бетонних елементів, вібропресованої бруківки, ФЕМ (фігурних елементів мощення) від несприятливого впливу зовнішнього середовища. Основні характеристики гідрофобізуючої речовини наведені в табл. 2.3, а гідрофобний ефект гідрофобізатора показаний на рис. 2.1.

Таблиця 2.3

Технічні характеристики ГФ-2

Консистенція	Колір	Густина, кг/м ³	Витрата, л/м ²
Рідина	Безбарвний (жовтий)	980	0,15– 0,5



Рис. 2.1. Гідрофобний ефект

ГФ-3 – безбарвна водовідштовхуюча рідина на основі кремнійорганічних сполук. Гідрофобізуюча речовина має відмінну стійкість до дії лугів та ультрафіолетових променів. Для обробки поверхні цегли і надання їй гідрофобних властивостей використано силіційорганічний лак (ПМФС) КО-85 – однорідна прозора рідина (допускається помутніння), густиною – 0,895–0,925 г/см³. Силіційорганічний лак КО-85 – це суспензія пігментів і наповнювачів в алкідному лаці з додаванням розчинників, сикативу і стабілізуючих речовин. Витрата матеріалу на один шар: 100–120 г/м². Концентрація складає 34 %.

Для підвищення експлуатаційних властивостей керамічної цегли розробляли гідрофобізуючу нано-рідину, до складу якої входить ПМФС, порошок оксиду алюмінію та оксиду заліза і нанопорошок на основі активного алюмінію Al₂O₃, мікроструктура якого вказана на рис. 2.2. 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.

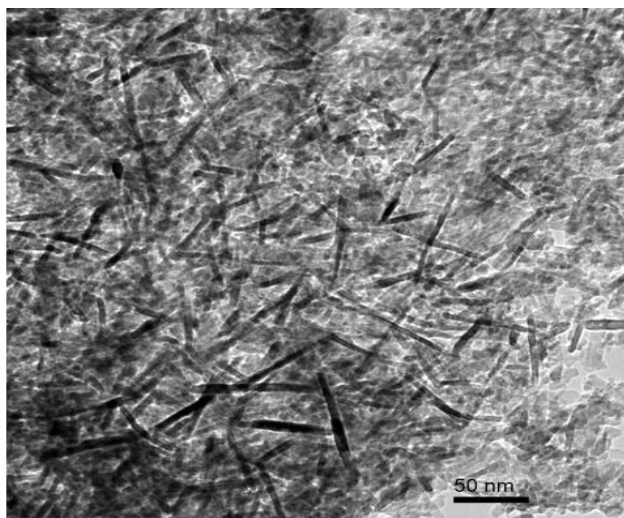


Рис. 2.2. Мікроструктура нано-Al₂O₃

Для одержання будівельних мурувальних розчинів в якості в'язучих речовин використано портландцементи ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н і ПЦ ІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н, а також цемент для будівельних розчинів ЦБР 300 ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Досліджені портландцементи задовольняють вимоги чинних стандартів щодо тонини розмелювання, термінів тужавлення, ранньої та стандартної міцностей, характеристика яких наведена в табл. 2.4. Показано, що портландцементи ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н та ПЦ ІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н відповідають марці за міцністю М400, а цемент для будівельних розчинів ЦБР 300 – М300.

Таблиця 2.4

Фізико-механічні властивості портландцементів

Тип цементу	$S_{\text{пит}}$, м ² /кг	A_{008} , %	Водо- відді- лення, К, об%	В/Ц	Терміни тужавіння, хв		Границя міцності на стиск, МПа, у віці, діб	
					поч.	кін.	2	28
ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н	385	1,6	17,89	0,39	130	240	23,2	42,1
ПЦ ІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н	543	5,6	23,1	0,39	140	250	16,5	41,0
ЦБР 300	540	2,0	5,47	0,39	190	380	16,8	30,5

Для одержання модифікованого цементу для мурування МС 22,5 застосовано портландцементний клінкер ПрАТ «Івано-Франківськцемент» нормованого мінералогічного складу (мас. %: C_3S – 60,42; C_2S – 13,62; C_3A – 7,06; C_4AF – 12,32; вміст лужних оксидів у перерахунку на Na_2O_e складає 0,8 мас. %), гранульований доменний шлак (ГДШ) Криворізького гірничо-металургійного комбінату "ArcelorMittal Кривий Ріг", цеолітовий туф Сокирницького родовища та карбонатний мікронаповнювач – вапняк Дубівецького родовища. При помелі цементу для мурування МС 22,5 в якості повітровтягувальної добавки використано модифікатор AeroCrete 1 (LP) МТС-chemie, технічні характеристики якого наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Технічні характеристики AeroCrete 1

Назва	Вид	Водневий показник, рН	Вміст лугів, мас.%	Вміст хлоридів, мас.%
AeroCrete 1	ПАР	7,0 ± 1,0	≤ 8,5 (в якості еквівалента Na ₂ O)	≤ 0,10

Як дрібний заповнювач для приготування будівельних розчинів використано кварцові піски родовищ Рогатина, Миколаїва, Тернавиця. Показники якості кварцових пісків наведені в табл. 2.7. Звідси видно, що дані піски належать до групи дуже дрібних і відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-32-95 до пісків для виготовлення будівельних розчинів. Кварцові піски родовищ Рогатина, Миколаїва, Тернавиця характеризуються модулем крупності 1,1–1,3 та насипною густиною 1360–1440 кг/м³. На основі даних ситового аналізу одержано криві розсіювання (рис. 2.3).

Таблиця 2.6

Показники якості дрібного заповнювача

Родовище	Модуль крупності, M _{кр}	Насипна густина, ρ _н , кг/м ³	Істинна густина, ρ _{іст} , г/см ³	Порожність, V _{мп} , %	Вологість, %	Вміст пило-видних і глинистих частинок, %
Рогатинське	1,1	1380	2,62	47,5	2	2,7
Миколаївське	1,3	1360	2,5	48,6	7,7	2,9
Тернавиця	1,3	1440	2,7	45,6	0,8	8,6

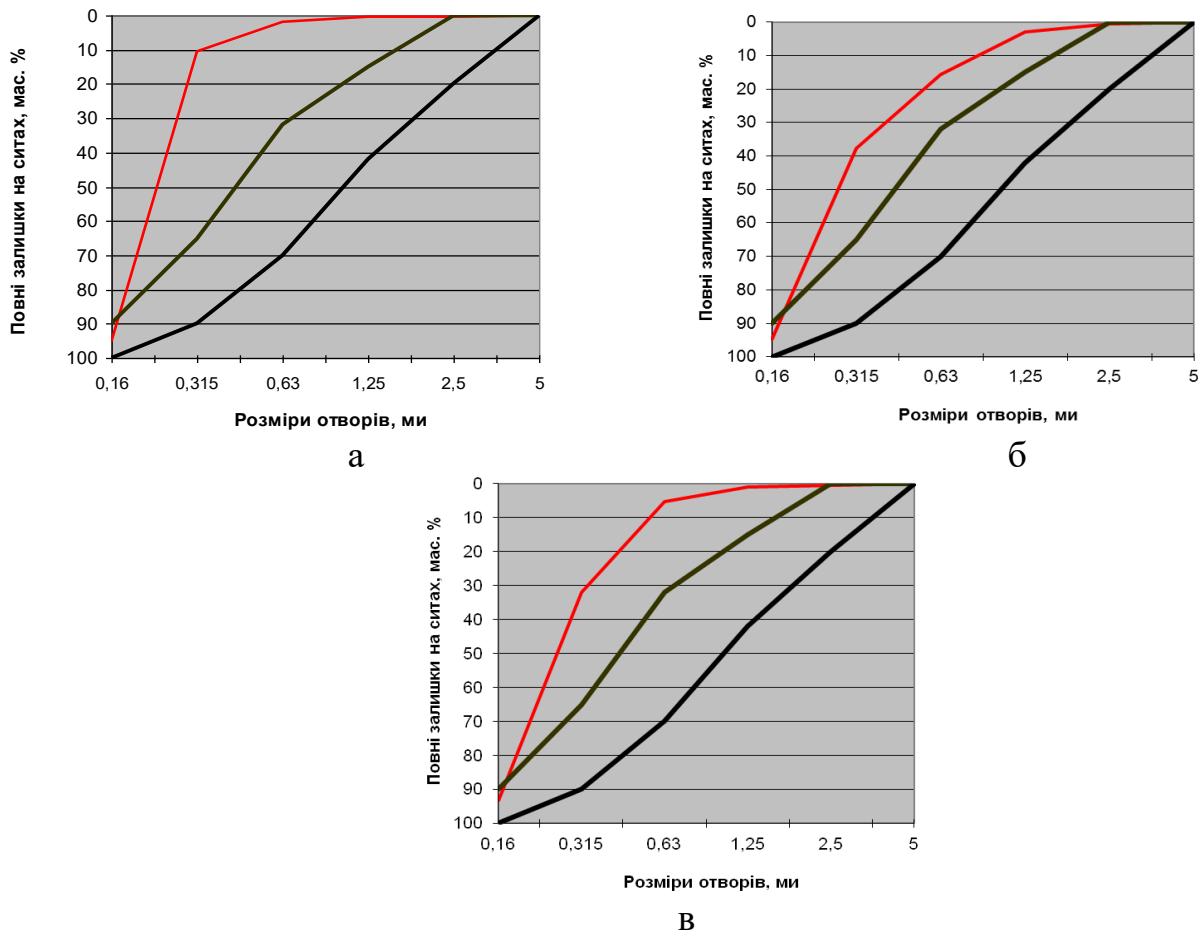


Рис. 2.3. Крива розсіювання дрібного заповнювача: а – Рогатинського родовища; б – Миколаївського родовища; в – родовища Тернавиця

В якості неорганічного пластифікатора застосовано вапно будівельне ТМ «Альба». З метою покращення технічних показників розчинових сумішей та будівельних розчинів використано комплексну добавку пластифікуюче-повітровтягувальної дії Master Air 81 (BASF) – добавка на основі водного розчину поверхнево-активних речовин, що збільшує повітровтягнення розчинової суміші. Добавка Master Air 81 ефективно працює з усіма типами цементів і пластифікуючих добавок, підвищує адгезію і легкоукладальність розчинової суміші, не впливає на процес тужавлення, знижує можливість розшарування розчинової суміші, покращує реологію розчинової суміші, істотно збільшує морозостійкість і водонепроникність розчину. Рекомендована витрата становить 0,05–1 мас.%. Технічні характеристики добавки наведена в табл. 2.7.

Технічні характеристики Master Air 81

Добавка	Вид	Густина, кг/м ³	Водневий показник, рН	Кількість добавки, мас.%	Вміст Сl- іона, мас.%
Master Air 81	ПВ	990–1030	8–10	0,05–1	Не більше 0,1

Добавки повітровтягувальної дії зумовлюють утворення в розчиновій суміші значної кількості еластичних повітряних бульбашок, що рівномірно розподілені в цементній матриці розчину. Сферичні бульбашки в свіжоприготованій розчиновій суміші зменшують внутрішнє тертя, пластифікують та запобігають розшаруванню її складових. Механізм дії добавки показано на рис. 2.4.

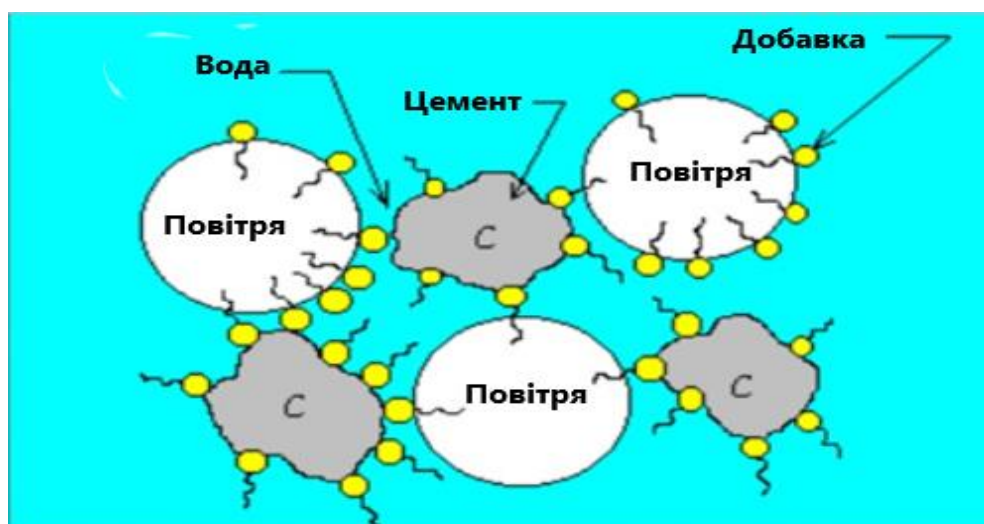


Рис. 2.4. Механізм дії повітровтягувальної добавки

Для того, щоб прискорити набирання міцності будівельних розчинів та якісно виконати роботу при низьких температурах (сприяє формуванню спеціальних умов) застосовується добавка з протиморозним ефектом формиат кальцію (ФК). Форміат кальцію має вигляд білої, можливо, з жовтим відтінком порошкоподібної маси, що складається з кристалів, повністю розчиняється у водних середовищах, але не в спирті. Форміат кальцію виступає антисептиком, потужним гідрофільним агентом, здійснює необхідний водозабір (табл. 2.8).

Технічні характеристики форміат кальцію

Молярна маса, г/моль	Густина кг/м ³	Водневий показник, рН	Кількість, мас. %	Формула
130,12	1150	7,1–7,2	1–2	Ca(HCOO) ₂

2.2 Фізико-механічні випробування

Визначення фізико-технічних та експлуатаційних властивостей керамічної цегли і будівельного розчину проведено згідно з діючими національними та європейськими стандартами. Випробування будівельного мурувального цементу МС 22,5 з повітровтягувальною добавкою проведено згідно ДСТУ Б EN 413-2:2015.

Для оцінки впливу хімічних добавок та ефектів їх взаємодії на експлуатаційні властивості цегляної кладки проведено математичне планування експерименту. При цьому застосовували один з методів статистичної обробки результатів – метод ортогонального центрально-композиційного планування (ОЦКП) [25].

Нанесення гідрофобізуючих речовин здійснювалось на гладку поверхню сухих зразків за допомогою щітки, і було послідовним одно- та дворазовим. Друге нанесення проводилось після припинення вбирання гідрофобізуючою речовиною. Інтервал між двома нанесеннями складав близько 10 хв, залежно від технічних умов використання засобу.

Водопоглинання цегли і будівельних розчинів визначено згідно ДСТУ Б.В.2.7-42-97 та ДСТУ Б.В.2.7-239:2010 відповідно. Для визначення показника водопоглинання керамічної цегли використовували неруйнівний аналіз за методом Карстена (RILEM Test Method П.4) згідно з ASTM E 514 через 2 год «витримки – падіння» визначали якість гідрофобізації. Водопоглинання при капілярному підтягуванні зразків керамічної цегли визначали згідно ГОСТ 31356- 2013 за

обсягом води, поглиненої зразком, висушеним до постійної маси, при атмосферному тиску за рахунок капілярних або адсорбційних сил. Для випробування використали зразки-балочки розміром 40x40x160 мм. Зразки витримували не менше 28 діб при температурі (20 ± 2) °С за наступним режимом: 2 доби – зберігання зразків у формі; 5 діб – зберігання зразків після розпалубки при вологості навколишнього повітря (95 ± 5) % і далі 21 добу – при вологості (65 ± 5) %. Перед випробуванням зразки висушували до постійної маси при температурі (105 ± 5) °С. Бічні грані зразків-балочок покривали водонепроникним складом (розплавленим парафіном, епоксидною смолою і ін.). Підготовлені зразки-балочки зважували з похибкою $\pm 0,01$ г та поміщали торцевою гранню в ванну на сітчасту підставку, яку заповнювали водою температурою (20 ± 5) °С так, щоб торець був занурений у воду на 5–10 мм (рис. 2.5). Через 24 год зразки виймали з води, видаляючи з поверхні зразків надлишок води вологою тканиною і зважували з похибкою $\pm 0,01$ г.

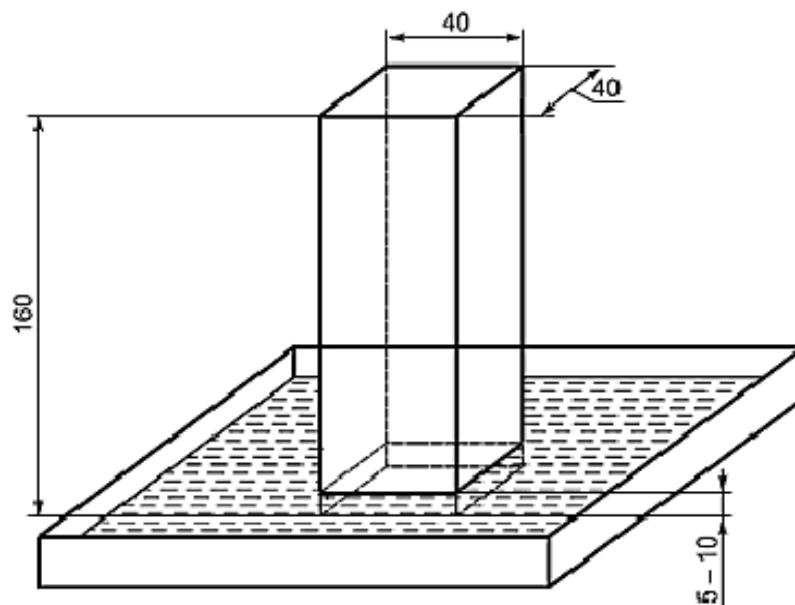


Рис. 2.5. Схема випробування по визначенню водопоглинання при капілярному підтягуванні

Стійкість керамічної цегли та будівельних розчинів до висолоутворення випробовували згідно ДСТУ Б В.2.7-171:2008. Зразки покритої керамічної цегли та без покриття, а також зразки будівельного розчину через 28 діб тверднення в

нормальних умовах занурювали (гранню розміром 120x65 мм – для цегли, гранню розміром 40x40 мм – для будівельного розчину) у дистильовану воду на глибину 30 мм, підтримуючи рівень води постійним. Поверхню зразків, що розташована над водою, протягом не менше ніж 3 години на добу обдували повітрям з температурою $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ і відносною вологістю повітря $(60 \pm 10) \%$. Через 7 діб випробувань наявність висолів на поверхні цегли та будівельних розчинів визначали візуально.

Прискореним способом згідно методики Ю. М. Бутта, В. В. Тимашева [5] визначення атмосферостійкості проводили, занурюючи зразки керамічної цегли та будівельного розчину у воду ($t^\circ = 20 \pm 2 ^\circ\text{C}$) та через кожні 50 циклів висушування і зволоження три висушених зразки випробовували на міцність. Згідно вказаної методики, зразки вважаються атмосферостійкими, якщо після 100 циклів висушування і зволоження міцність зразків не знизиться більш ніж на 25 %.

Визначення морозостійкості керамічної цегли та будівельного розчину проводили згідно ДСТУ Б В.2.7-42-97. Оцінку морозостійкості проводили за зовнішнім виглядом (ступенем пошкоджень) і втратою міцності на стиск та втратою маси відповідно до вимог діючих нормативних документів. Контрольні зразки не пізніше 2 год після витягнення із ванни з водою випробовували на стиск, а основні зразки завантажували у морозильну камеру. Тривалість одного заморожування зразків при температурі повітря у камері мінус $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$ повинна бути не менше 4 год – для цегли усіх видів та будівельного розчину. Зразки після заморожування відтаюють у ванні з водою при температурі $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Тривалість одного відтавання повинна бути не менше половини тривалості заморожування. Один цикл випробування не повинен перевищувати 24 год. Число циклів випробування, що необхідне для контролю марки зразків за морозостійкістю, установлювали у відповідності з вимогами діючих нормативних документів на матеріали і вироби.

Міцність розчину на стиск і згин визначали на зразках-кубах розмірами $(70,7 \times 70,7 \times 70,7)$ мм у віці, який встановлено у стандарті або технічних умовах на даний вид розчину згідно ДСТУ Б В.2.7-239:2010. Досягнуте в процесі випробування зразка максимальне зусилля приймають за величину руйнівного

навантаження.

Рухомість розчинової суміші характеризується глибиною занурення в неї еталонного конуса. Глибину занурення конуса оцінювали за результатами двох випробувань на різних пробах розчинової суміші одного замісу як середнє арифметичне значення округлювали до 1 см із метою встановлення марки суміші за рухомістю згідно з ДСТУ Б В.2.7-239:2010. Середню густину розчинової суміші визначали відношенням маси ущільненої розчинової суміші до її об'єму. Для визначення деформацій розширення свіжозамороженої суміші і температури замерзання рідкої фази використано метод низькотемпературної дилатометрії. Деформації усадки визначали за допомогою компаратора з індикатором годинникового типу (ціна поділки 0,01 мм) на зразках-балочках 40x40x160 мм, у торцях яких були закладені металеві анкери.

Розшаровуваність розчинової суміші, яка характеризує її зв'язність при динамічній дії, визначали порівнянням вмісту маси заповнювача у нижній і верхній частинах свіжовідформованого зразка розмірами (150x150x150) мм. Консистенцію розчину визначали із допомогою плунжерного апарата. Для визначення модуля пружності та коефіцієнта Пуассона зразок із приладами встановлювали центрально по розмітці плити преса і перевіряли сполучення початкового відліку з позначкою шкали приладу. Значення очікуваного руйнівного навантаження при випробуванні зразків установлювали за міцністю розчину, прийнятою в технічній документації, або за міцністю на стиск виготовлених з одного замісу зразків-кубів.

Міцність на стиск цегляної кладки визначали згідно ДСТУ Б EN 1052-1:2011. Міцність на стиск кладки перпендикулярно до горизонтальних швів визначали за міцністю невеликих зразків цегляної кладки, що навантажувались до руйнування, реєструючи максимальне навантаження F_{\max} . Характеристична міцність при стиску кам'яної кладки визначається за міцністю окремих зразків для випробування кладки. Схема зразка для випробування наведена на рис. 2.6.

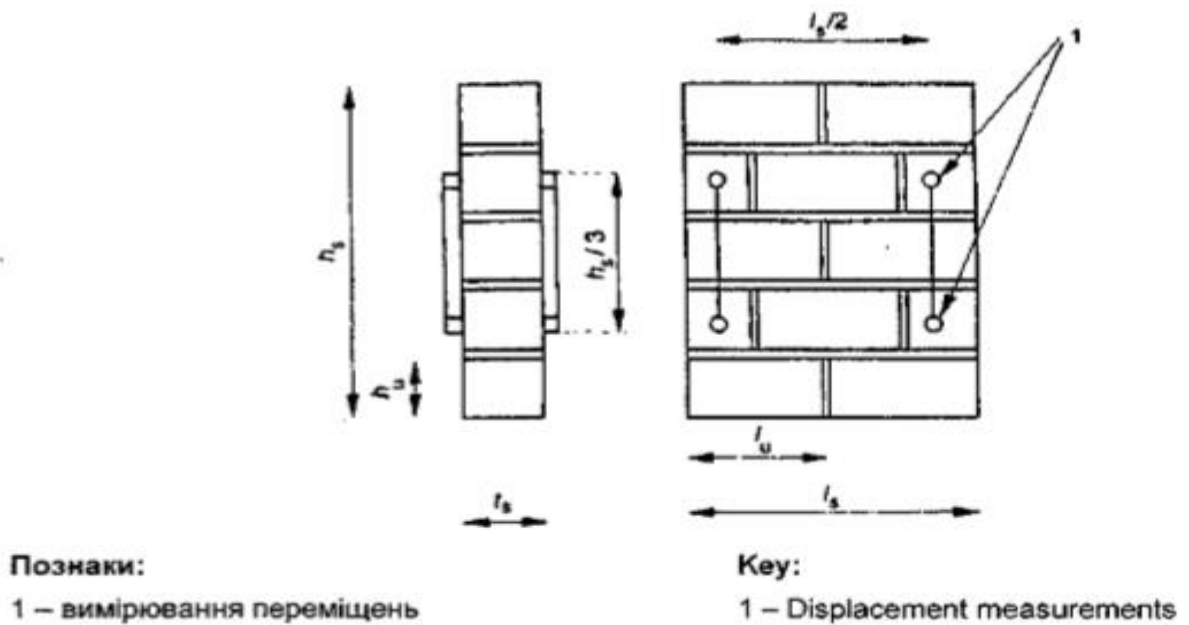


Рис. 2.6. Зразок для випробування цегляної кладки

Визначення міцності зчеплення в цегляній кладці проводили згідно ДСТУ Б.В.2.6-174:2011. Схема зразка для випробування на зчеплення наведена на рис. 2.7.

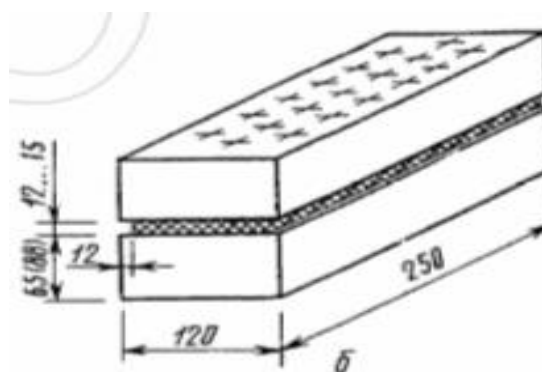


Рис. 2.7. Схема контрольного зразка для випробування на зчеплення

Товщина швів у зразках повинна бути рівна товщині шва, прийнятій в кладці (10–15 мм). При виготовленні зразків у швах вибирають пази на ложковій стороні глибиною 12 мм для встановлення захватів.

2.3 Фізико-хімічні методи досліджень

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.

Вивчення фазового складу цементу для мурування і висолів виконано з використанням рентгенівської дифрактометрії на дифрактометрах ДРОН-3 та PANalytical X'pert Pro з детектором X'celerator в діапазоні 2θ від 5° до 70° (крок $0,033^\circ$, час/крок 50 с). Дифрактометр ДРОН-3 – це установка, в якій для реєстрації інтенсивності рентгенівських променів використовують сцинтиляційний лічильник квантів. Показники лічильника фіксуються на діаграмній стрічці (з допомогою самописця потенціометра КСП-4), яка рухається синхронно з обертанням лічильника. На стрічці фіксується крива залежності інтенсивності дифракційної картини від кута відбиття. Диференційно-термічний аналіз цементу проведено на дериватографі Q-1500D системи Ф. Паулик, Й. Паулик, Л. Ердеі.

Вивчення мікроструктури керамічної цегли, будівельних розчинів, висолів та цементу проведено на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И. Суть препарування зразків полягає в напиленні струмопровідного шару (золото, срібло, мідь) товщиною 500-1000 нм безпосередньо на свіжий скол цементного каменю. Растровий електронний мікроскоп працює при прискорюючих напругах до 30 кВ. При цьому досягається роздільна здатність 20 нм, електронно-оптичне збільшення – 5-50000 раз.

При визначенні показника рН портландцементів використано рН-метр рН-150МИ, який працює в діапазоні температур $10 \dots 100^\circ\text{C}$ і визначає рівень рН від -1 до 14.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ

3.1 Дослідження процесів висолоутворення керамічної лицьової цегли

Під час експлуатації будівлі і споруди піддаються впливу факторів навколишнього середовища, що має негативний вплив на фізико-технічні властивості цегляної кладки зовнішніх стін. Основним елементом цегляних огорожувальних конструкцій є керамічна цегла. Порівняльними властивостями керамічної цегли різних виробників ТзОВ «Керамейя» (м. Суми) та ПрАТ Роздільський керамічний завод ТМ «Євротон». Встановлено, що керамічна клінкерна цегла ТМ «Євротон» і ТзОВ «Керамейя» характеризуються міцністю на стиск 32,3 і 30,6 МПа, що відповідає марці М300. Для керамічної лицьової цегли міцність на стиск складає 16,8–15,7 МПа, що відповідає марці М150. При дослідженні водопоглинання за прискореною методикою та згідно ДСТУ Б.В.2.7-42-97 показано, що для керамічної клінкерної цегли водопоглинання за масою складає 8,5–8,9 % (рис. 3.1). В той же час, для керамічної лицьової цегли цей показник збільшується в 1,68...1,78 раз, що свідчить про більш пористу структуру матеріалу. Для подальших досліджень обрано керамічну клінкерну та лицьову цеглу ТМ «Євротон».

Як видно з мікрофотографії (рис. 3.2, а), керамічна клінкерна цегла характеризується однорідною структурою, в той час, як мікроструктура керамічної лицьової цегли (рис. 3.2, б) вказує на наявність значної кількості пор. Підвищені показники пористості лицьової цегли сприяють проникненню води у капілярно-пористу структуру матеріалу, що призводить до зниження експлуатаційних властивостей кладки.

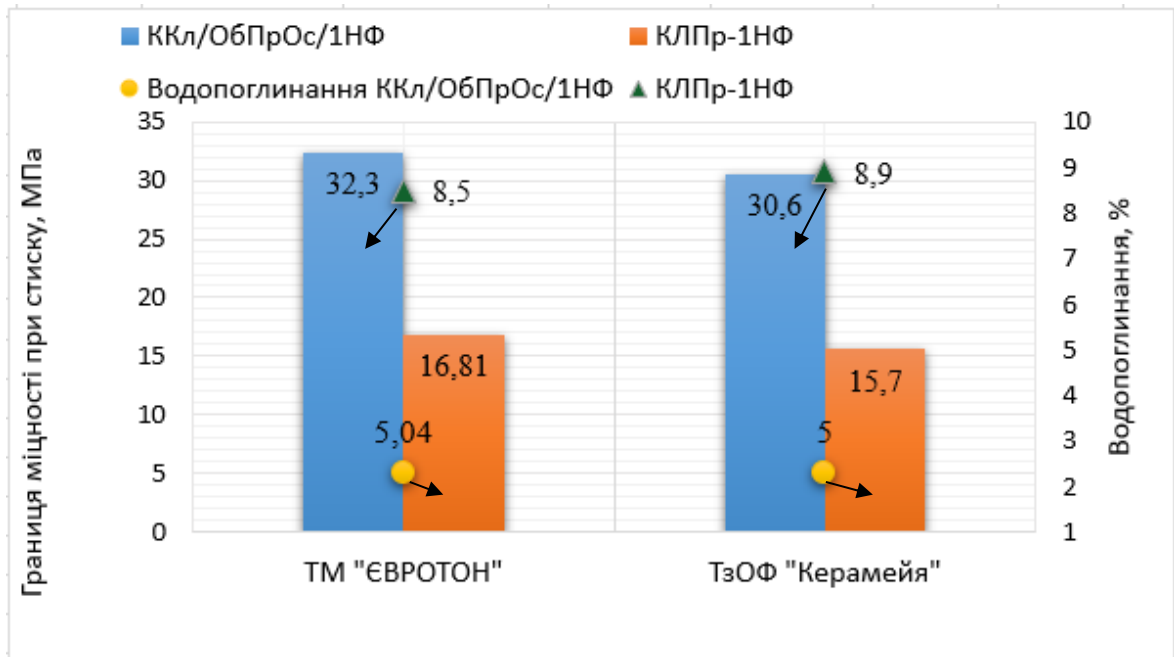


Рис. 3.1. Міцність та водопоглинання керамічної клінкерної та лицьової цегли різних виробників

Експериментальними дослідженнями встановлено, що для керамічної клінкерної цегли пористість складає 13,6 %, водопоглинання – 5,2 %, показник водопоглинання при капілярному підтягуванні – 0,5 кг/м²·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 кг/м²·год^{0,5}, що в 4,4 рази більше порівняно з клінкерною цеглою.

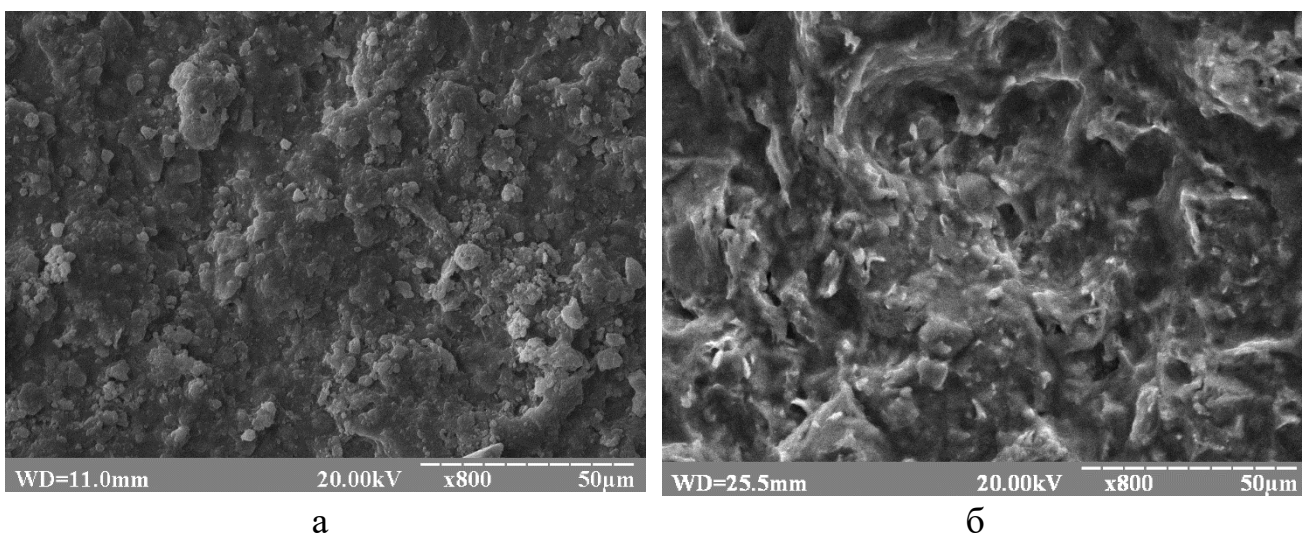


Рис. 3.2. Мікроструктура керамічної клінкерної (а) та лицьової (б) цегли

Часто на поверхнях цегляних стін спостерігаємо білі висоли, розтріскування та лушення штукатурок і фарб, а також руйнування цегли та розчину в швах кладки [67]. Постійно діючий механізм капілярного підтягування ґрунтових вод призводить до накопичення солей в матеріалі стіни. Кристали солей, заповнюючи пори зовнішніх шарів цегли та розчину кладки, створюють тиск і руйнують поверхневі шари керамічного матеріалу, що призводить до лушення лицьової поверхні цегли і викришування цегляної кладки. З іншої сторони, при виготовленні лицьової керамічної цегли може використовуватись неякісна сировина – місцеві низькосортні глини, які містять водорозчинні сульфати та хлориди лужних і лужноземельних металів, що призводить до утворення висолів на поверхні стін [152].

Дослідженнями висолоутворення згідно з ДСТУ Б В.2.7-171:2008 через 7 діб випробувань встановлена наявність висолів на поверхні керамічної лицьової цегли (рис. 3.3, б). В той же час, утворення висолів на поверхні керамічної клінкерної цегли не спостерігається (рис. 3.3, а).

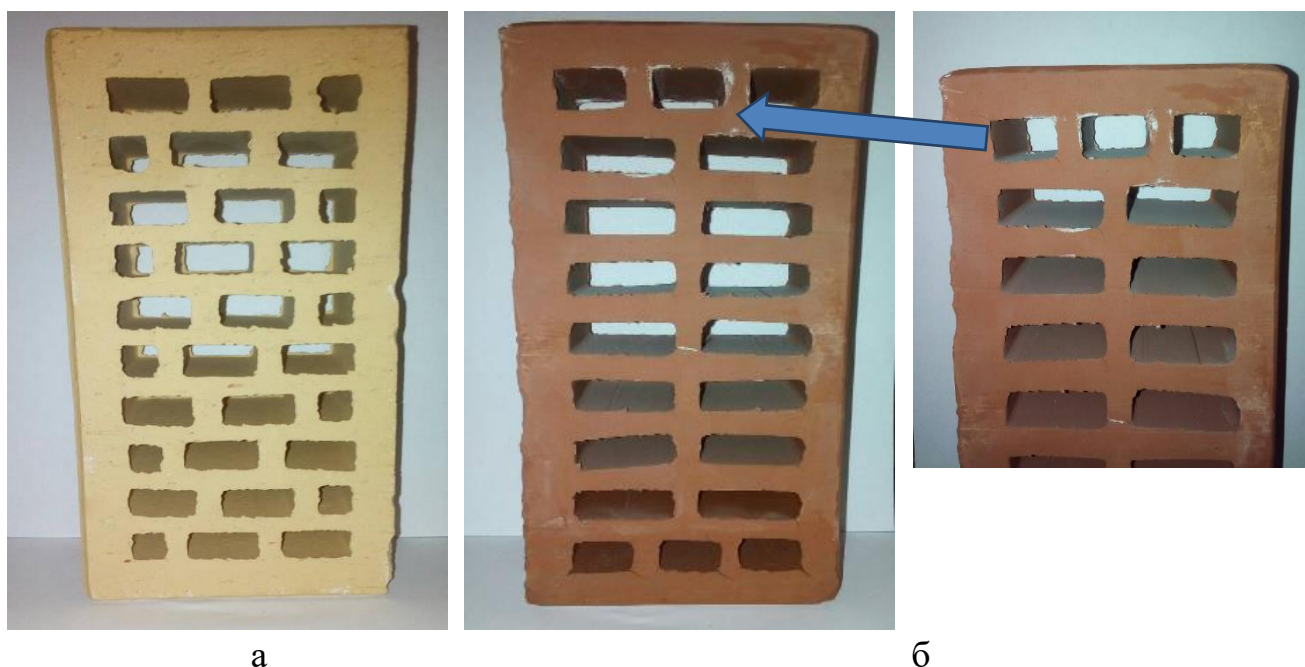


Рис. 3.3. Висолоутворення керамічної клінкерної (а) та лицьової (б) цегли

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.%) (рис. 3.4). При цьому фіксуються незначні включення CaO (2,6 мас.%) і SiO₂ (1,8 мас.%).

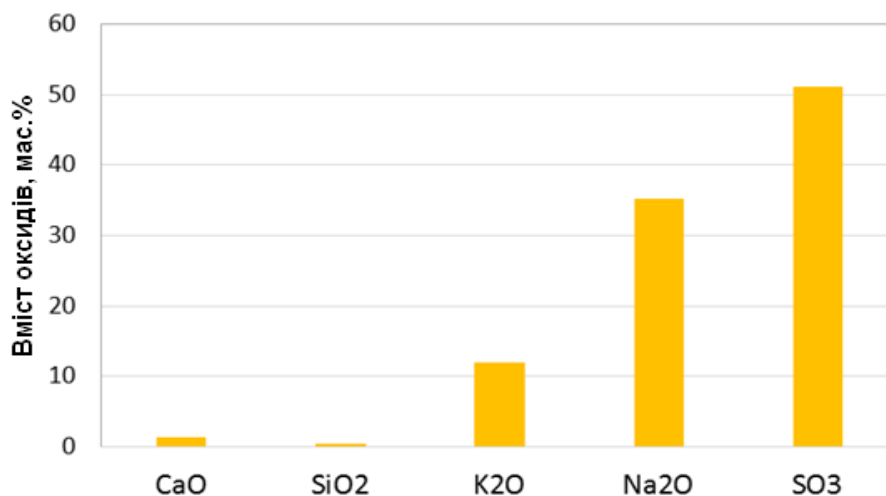


Рис. 3.4. Хімічний склад висолів з керамічної цегли кладки

Методом рентгенофазового аналізу показано, що на дифрактограмі висолів фіксуються лінії тенардиту Na₂SO₄ (d/n=0,467; 0,384; 0,318; 0,278; 0,264; 0,232 нм), арканіту K₂SO₄ (d/n=0,288; 0,221; 0,208 нм) та сингеніту (d/n=0,951; 0,285 нм) (рис. 3.5).

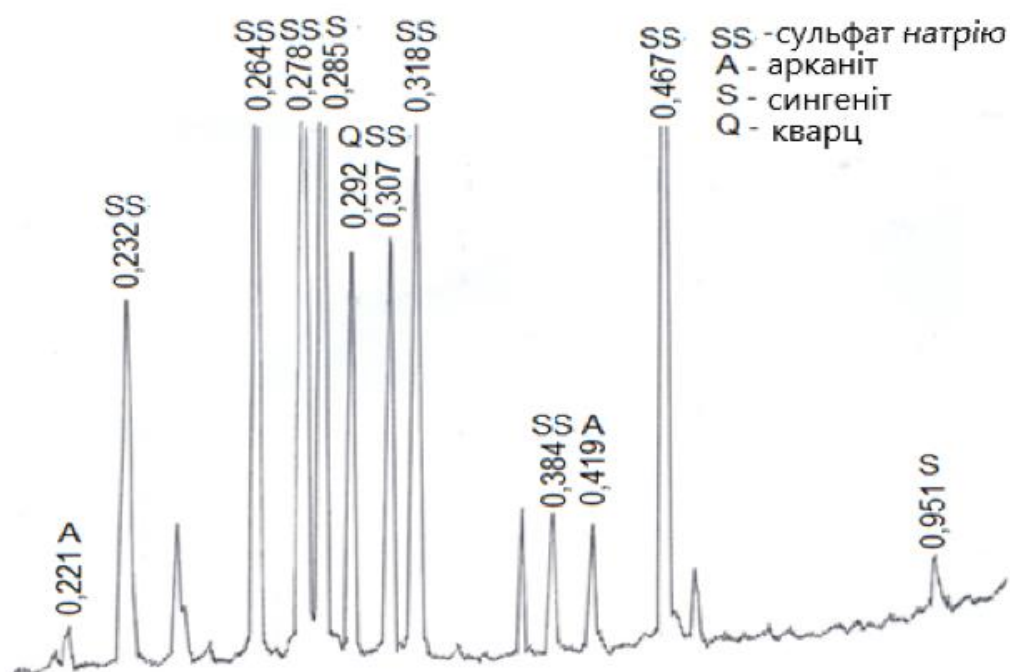


Рис. 3.5. Рентгенофазовий аналіз висолів з керамічної лицьової цегли

Мікроструктура висолів з керамічної цегли (рис. 3.6, а) характеризується різними фазами Na₂SO₄ і K₂SO₄. Як видно з мікрофотографії (рис. 3.6, б), солі

тенардиту визначаються пухкою дрібнокристалічною структурою, а арканіт кристалізується пластиноподібними агрегатами (10...20 мкм), окремими групами (рис. 3.6, в). Наявність фаз солей лужних і лужноземельних металів Na_2SO_4 і K_2SO_4 підтверджується даними рентгеноспектрального аналізу (рис. 3.6, г, д). У зв'язку з підвищеним вмістом K_2O у висолах, калій сульфат накопичується і відбувається зв'язування сульфатного аніону з утворенням мінералу сингеніту. Це може бути причиною руйнівних явищ у матриці керамічної цегли, а загалом і в кладці.

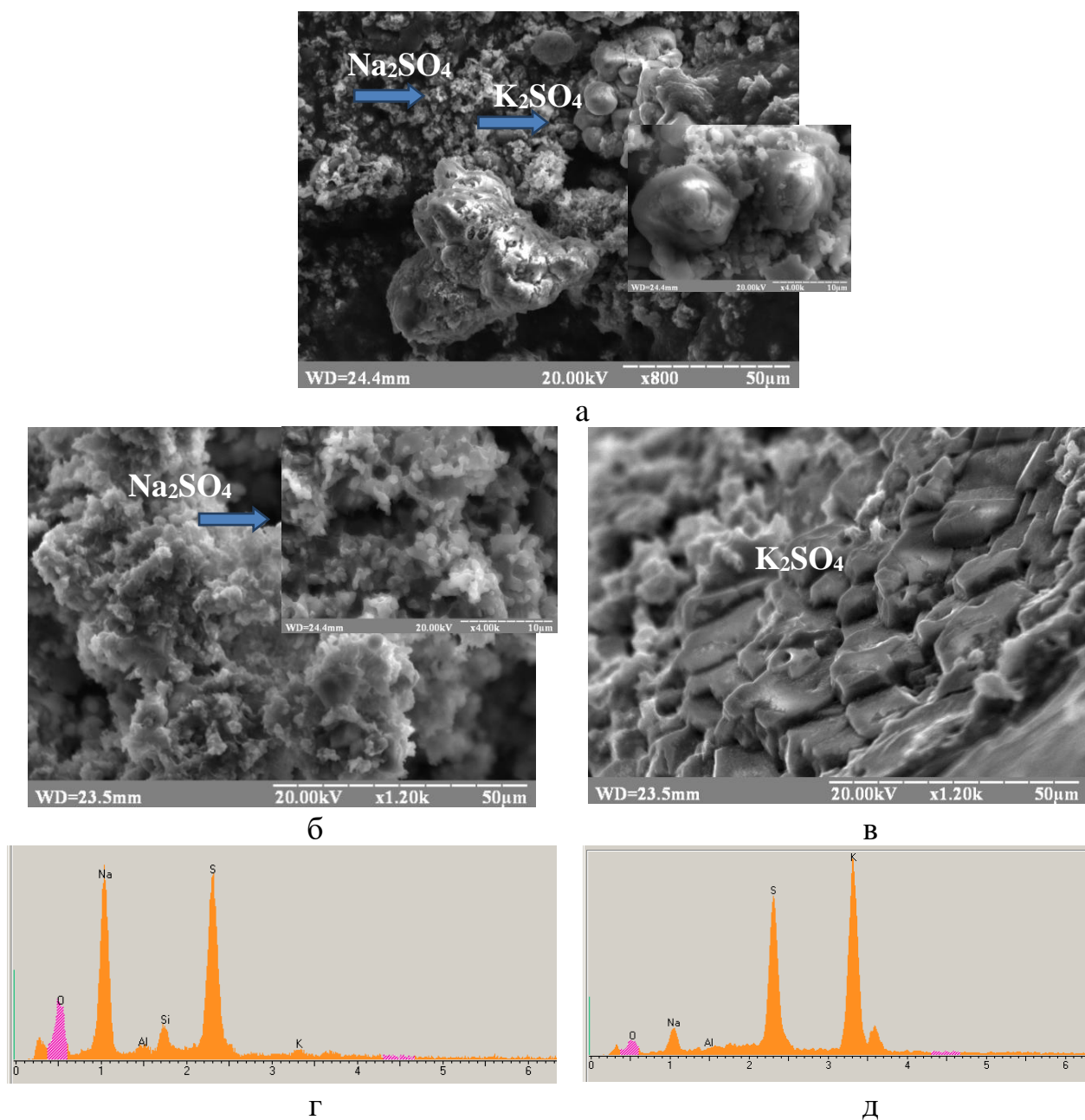


Рис. 3.6. Мікроструктура (а, б, в) та спектри рентгенівського характеристичного випромінювання (г, д) висолів з керамічної лицьової цегли

Кристали солей, заповнюють пори зовнішніх шарів цегли, як наслідок, створюють тиск і руйнують поверхневі шари керамічного матеріалу, що призводить до лущення лицьової поверхні цегли і викришування цегляної кладки. Тому для попередження висолоутворення кладки необхідно застосовувати гідрофобізуючі речовини.

3.2 Дослідження впливу модифікуючих речовин на експлуатаційні властивості керамічної цегли

Для попередження висолоутворення та підвищення довговічності цегляної кладки широко застосовується метод поверхневого модифікування гідрофобізуючими речовинами, в результаті чого досягається зниження пористості та водопоглинання будівельного матеріалу. Як видно з рис. 3.7, 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/м²·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 ($W = 4,8 \%$, $W = 0,61 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$) характеризується керамічна лицьова цегла, покрита ГФ-3.

Проведеними дослідженнями капілярного підтягування визначено, що максимальне збільшення маси після 24 годин насичення водою спостерігається для керамічної лицьової цегли, поверхня якої оброблена ПМФС (табл. 3.1). Найповільніше процес капілярного підтягування проходить для керамічної лицьової цегли, поверхня якої оброблена гідрофобізуючою речовиною ГФ-3, де показник водопоглинання при капілярному підтягуванні складає 0,61 кг/м²·год^{0,5}, що на 0,11 кг/м²·год^{0,5} менше від показника керамічної клінкерної цегли (0,5 кг/м²·год^{0,5}).

Таблиця 3.1

Капілярне підтягування модифікованої керамічної цегли

Вид поверхні	Час дослідження, W, кг/м ² ·год ^{0,5}						
	5хв	10хв	20хв	30хв	1год	5год	24год
Керамічна клінкерна цегла							
Необроблена поверхня	0,06	0,06	0,08	0,09	0,1	0,25	0,5
Керамічна лицьова цегла							
Необроблена поверхня	0,36	0,49	0,58	0,8	1,29	1,98	2,2
ПМФС	0,21	0,43	0,52	0,92	1,51	1,87	1,98
ГФ-1	0,16	0,16	0,27	0,48	0,69	0,83	1,08
ГФ-2	0,14	0,15	0,25	0,38	0,53	0,76	0,86
ГФ-3	0,13	0,15	0,17	0,21	0,36	0,54	0,61

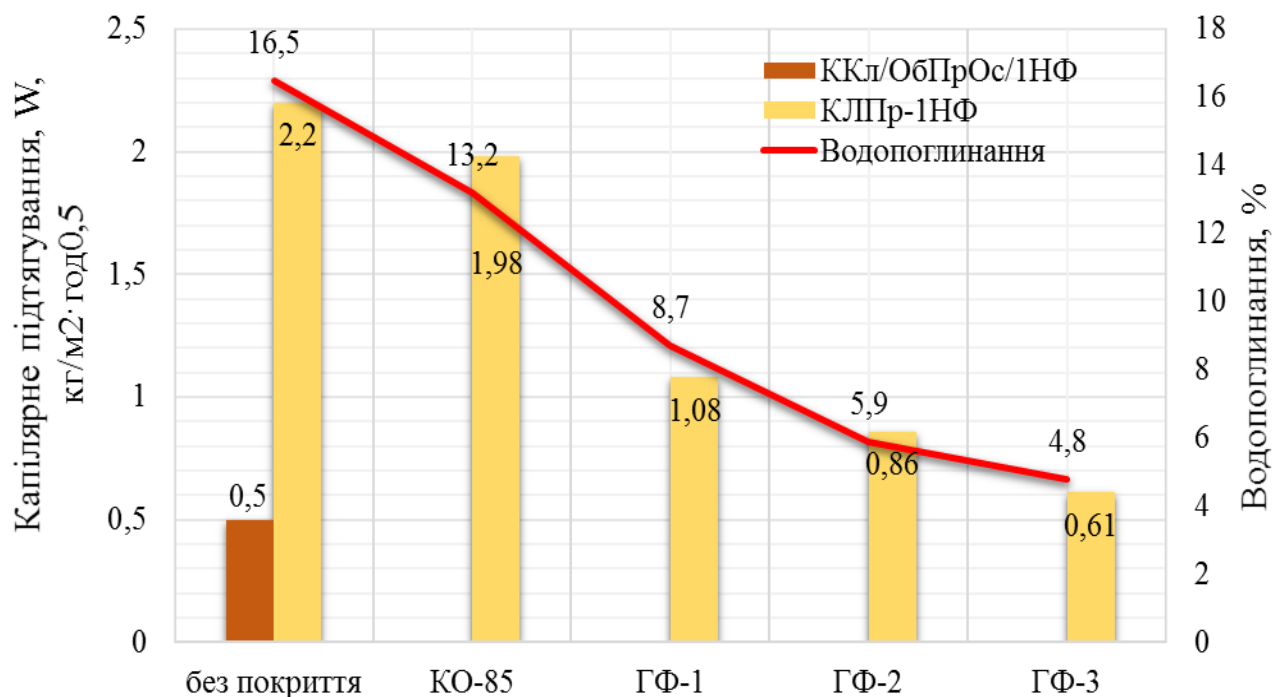


Рис. 3.7. Капілярне підтягування та водопоглинання керамічної клінкерної та лицьової цегли

Візуальним ефектом у разі застосування гідрофобізуючих речовин на поверхні будь-якого матеріалу є ефект «лотоса», що виникає як наслідок значно низької змочуваності поверхні. Проведено візуальне дослідження проникнення керамічною цеглою краплі води (рис. 3.8). Час поглинання керамічною цеглою краплі води проводився протягом 1 хв. Встановлено, що крайовий кут між поверхнею керамічної клінкерної цегли та поверхнею краплі води більший за 90° (рис. 3.8, а). В той час, як крайовий кут між поверхнею керамічної лицьової цегли та поверхнею краплі води менший за 90° , що свідчить про необхідність гідрофобізації матеріалу (рис. 3.8, б). Керамічна лицьова цегла, покрита гідрофобізуючими речовинами КО-85, ГФ-1, ГФ-2 та ГФ-3 характеризується крайовим кутом більшим за 90° , що свідчить про збільшення водонепроникності матеріалу (рис. 3.9).



Рис. 3.8. Поверхневе краплинне поглинання води: а – керамічна клінкерна цегла; б – керамічна лицьова цегла

Методом дефектоскопії за допомогою трубки Карстена визначено водопоглинання керамічної лицьової цегли після 2 годин витримки-падіння водяний стовпчик зменшився більше як на 3 поділки, що вказує на недостатню гідрофобність матеріалу (рис. 3.9, а). Для керамічної лицьової цегли, поверхня якої оброрена КО-85 водяний стовпчик зменшився на $0,03 \text{ мл/см}^2$ після 2 годин витримки-падіння (рис. 3.9, б), ГФ-1 – на $0,02 \text{ мл/см}^2$ (рис. 3.8, в), ГФ-2 – на $0,01 \text{ мл/см}^2$ (рис. 3.9, г), ГФ-3 – на $0,01 \text{ мл/см}^2$ (рис. 3.8, д), що свідчить про достатню якість гідрофобізації.

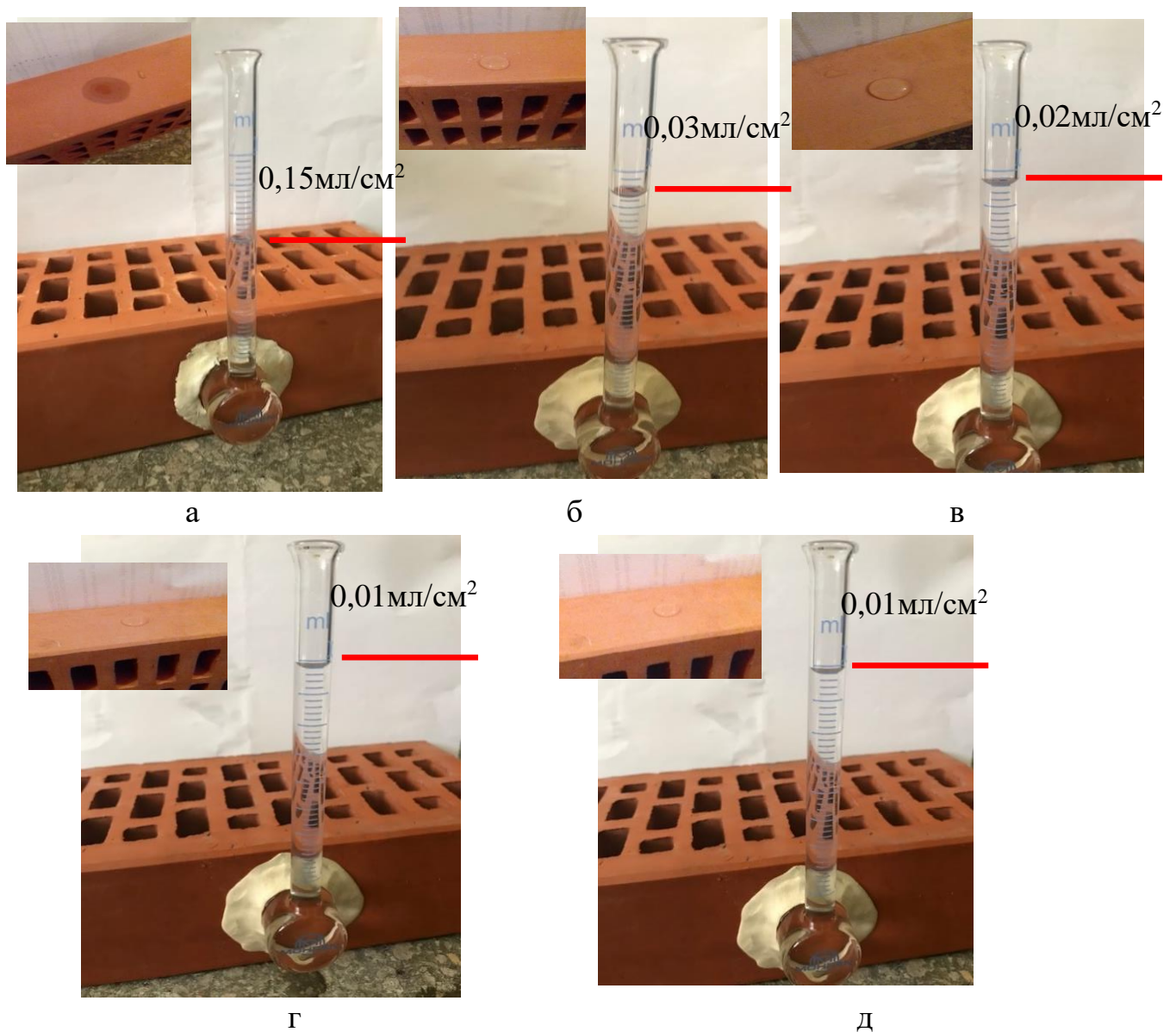


Рис. 3.9. Водопоглинання керамічної лицьової цегли з використанням трубки Карстена

Важливою експлуатаційною характеристикою огорожувальних конструкцій є атмосферостійкість. Прискореним методом [5] визначення атмосферостійкості служить поперединне зволоження і висушування. Зразки керамічної лицьової цегли покривали гідрофобізуючими речовинами КО-85, ГФ-1, ГФ-2 та ГФ-3. Після 100 циклів поперединного зволоження і висушування міцність на стиск керамічної клінкерної цегли марки за міцністю М300 знизилась на 5,3 %, проте явних дефектів на поверхні цегли не спостерігається (рис. 3.10, а). При випробуванні керамічної лицьової цегли марки за міцністю М150 після 100 циклів поперединного зволоження та висушування міцність на стиск знизилась на 15,2 %. При цьому на

досліджуваних зразках спостерігалось утворення тріщин шириною розкриття – 2...3 мм (рис. 3.10, б). В той час, як для зразків керамічної лицьової цегли, поверхня якої покрита КО-85 міцність на стиск знизилась на 7,9 %. Слід зазначити, що на поверхні зразків появились тріщини (рис. 3.10, в). Міцність на стиск керамічної лицьової цегли, покритої ГФ-1 знизилась на 7,1 %, ГФ-2 – на 5,4 %, ГФ-3 – на 4,7 % без утворення тріщин (рис. 3.10, г, д, е).

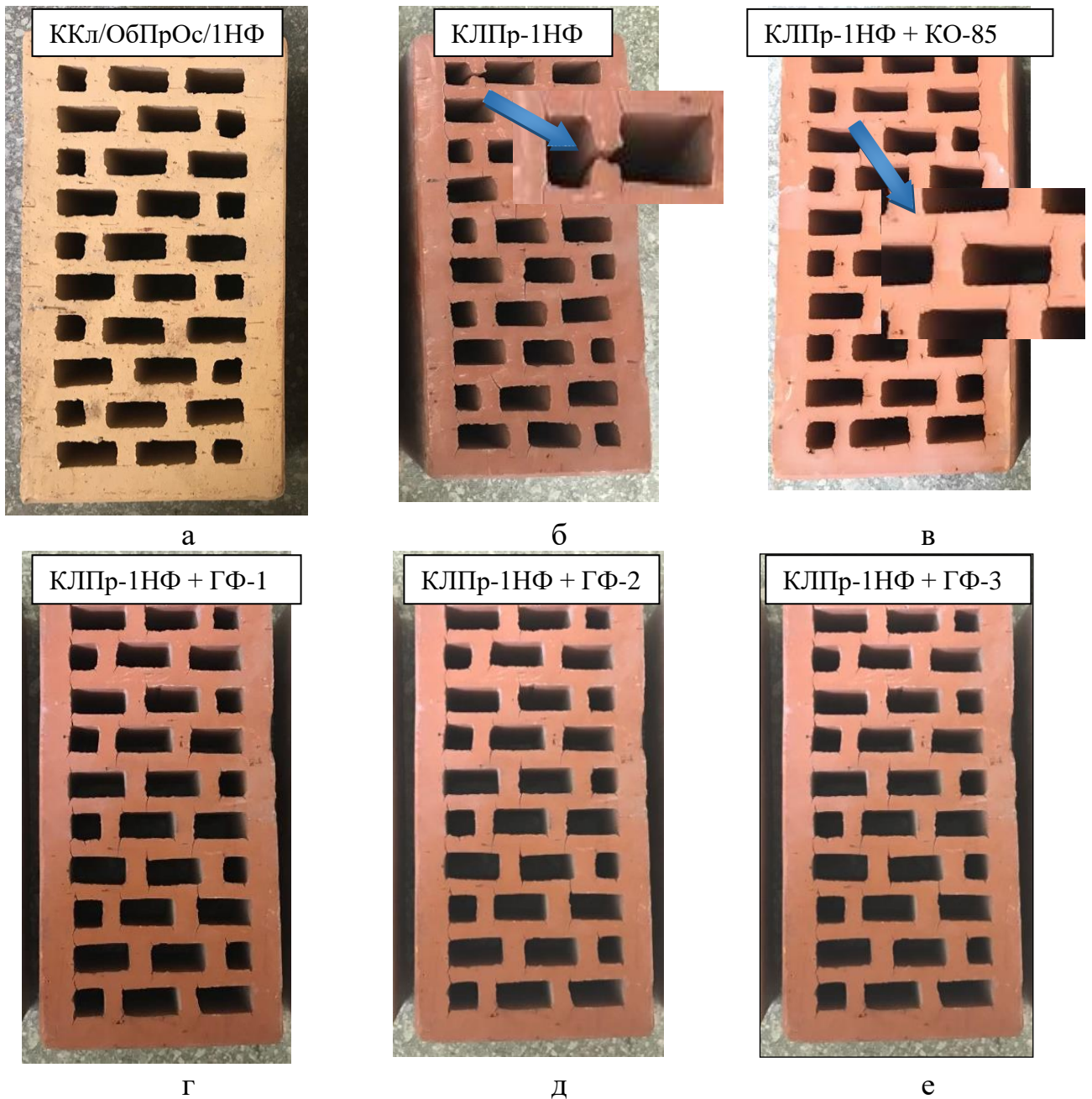


Рис. 3.10. Атмосферостійкість керамічної клінкерної та лицьової цегли

Дослідженнями морозостійкості керамічної цегли згідно ДСТУ Б В.2.7-42-97 показано, що для керамічної лицьової цегли, поверхня якої оброблена ПМФС та

ГФ-1 морозостійкість збільшується на 15 циклів, а для поверхні, покритої ГФ-2 – на 20 циклів порівняно з цеглою без гідрофобізатора (марка за морозостійкістю F50). Як видно з рис. 3.11, а, поверхня цегли, оброблена ГФ-1 покрилась плівкою з глибокими тріщинами. У той же час, на обробленій поверхні гідрофобізатором ГФ-2 керамічної лицьової цегли спостерігається незначний наліт (рис. 3.11, б). При захисті поверхні гідрофобізатором ГФ-3 морозостійкість збільшується на 25 циклів, однак поверхня матеріалу характеризується явними тріщинами (рис. 3.11, в).

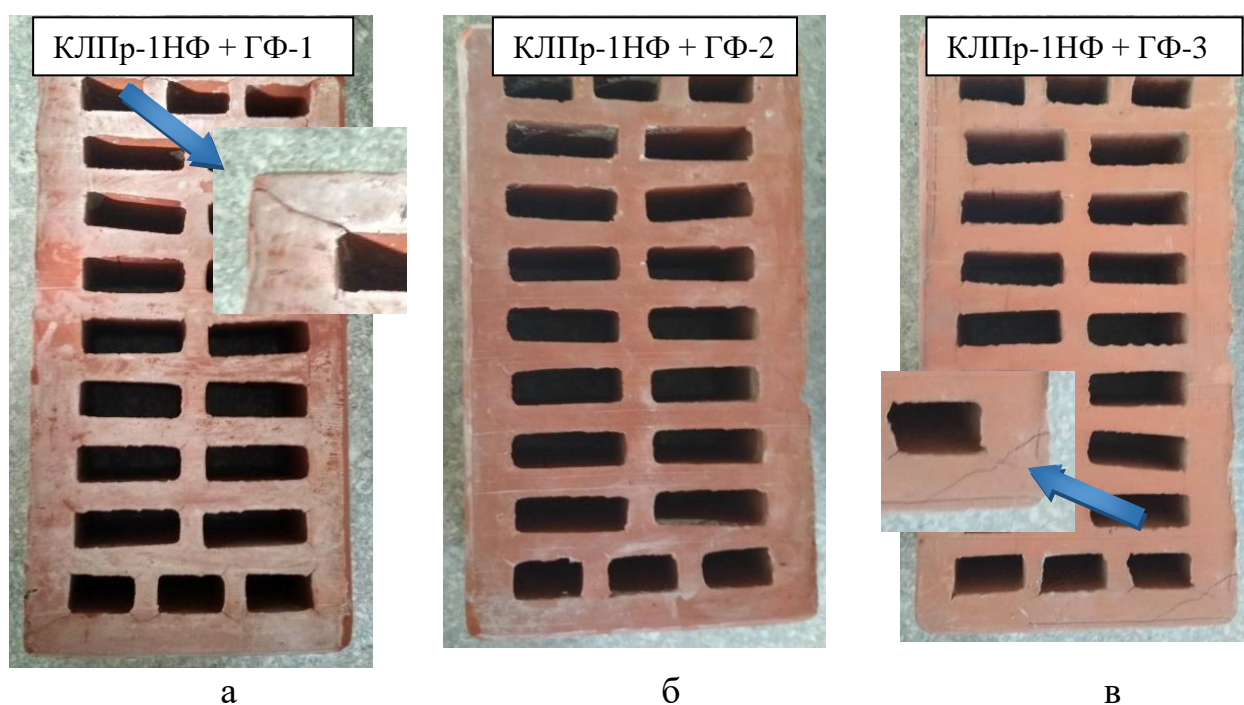


Рис. 3.11. Морозостійкість керамічної лицьової цегли

Експериментальні дослідження підтверджуються даними електронної мікроскопії. Як видно з рис. 3.12, після попереминого заморожування і відтавання на поверхні цегли, обробленої гідрофобізатором ПМФС і ГФ-1, 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 %.

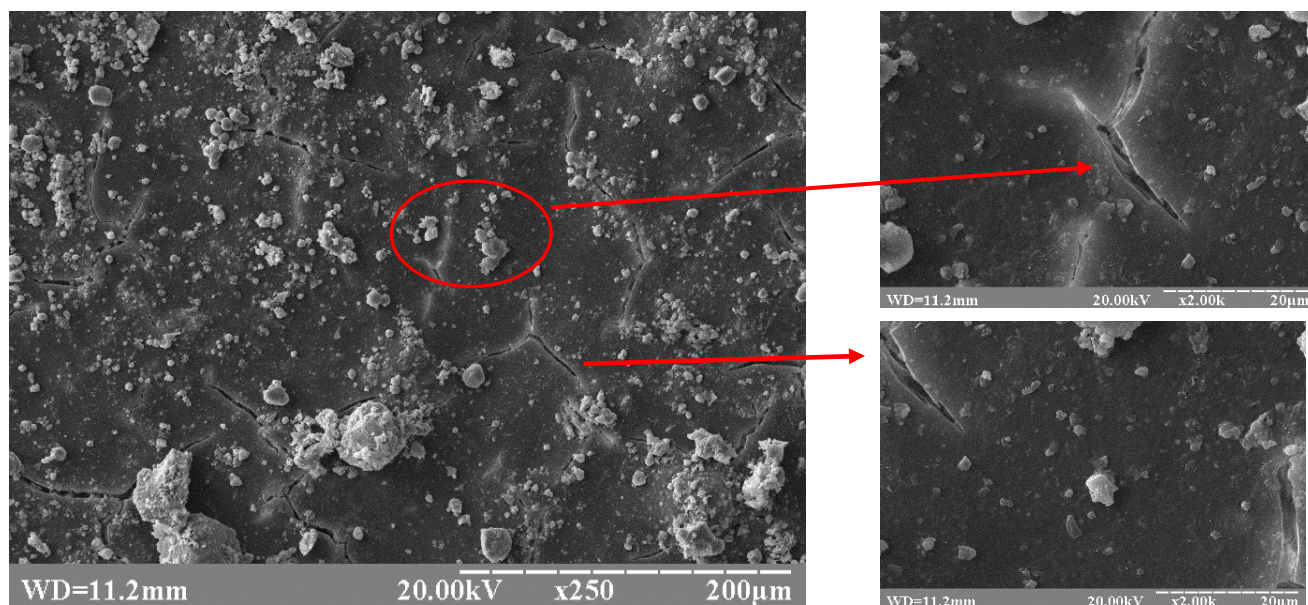


Рис. 3.12. Мікротріщини на поверхні цегли, обробленій гідрофобізуючими речовинами

Це свідчить, що досліджувані склади гідрофобізуючих покриттів не забезпечують необхідну довговічність цегляних конструкцій, а саме, морозостійкість, атмосферостійкість та водостійкість. Тому необхідно провести оптимізацію складу гідроіобізуючих речовин.

3.3 Оптимізація складів захисних покриттів для керамічної лицьової цегли

Гідрофобізуючі речовини розроблені на основі органічних сполук та додаткових інгредієнтів здатні знизити поверхневу пористість керамічної цегли, що запобігає проникненню води [13]. Компонентний склад вихідних композицій для захисних покриттів та їх вплив на захисні властивості визначалися за допомогою методу математичного планування експерименту. Використано один із методів статично-математичної обробки результатів – метод ортогонального центрально-композиційного планування (ОЦКП).

Факторами оптимізації вибрано вміст поліметилфенілсилоксанового лаку ($X_1 = 30; 35; 40$ мас.%) та алюміній оксиду ($X_2 = 60; 50; 40$ мас.%). Функціями відгуку прийнято водопоглинання (мас.%), адгезійна міцність (МПа) та морозостійкість (цикли). Основні характеристики плану експерименту та результати повного двофакторного експерименту наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Матриця планування та результати повного двофакторного експерименту

№ п/п	Матриця планування						Значення		
	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	x_1^2	x_2^2	Водопогли- нання, W, %	Адгезійна міцність, A, МПа	Морозостій- кість, F, цикли
1	1	1	1	1	1	1	2,85	6,1	54
2	1	-1	1	-1	1	1	3,0	5,9	52
3	1	1	-1	-1	1	1	3,15	5,7	53
4	1	-1	-1	1	1	1	2,7	6,5	56
5	1	-1	0	0	1	0	3,3	5,6	55
6	1	1	0	0	1	0	3,0	5,9	54
7	1	0	-1	0	0	1	2,85	6,2	58
8	1	0	1	0	0	1	3,15	6,0	57
9	1	0	0	0	0	0	3,0	6,1	54

Суть планування експериментів із використанням цього методу полягає у встановленні математичної залежності між заданими експлуатаційними властивостями і компонентним складом чи витратою матеріалів. Метод ОЦКП дає можливість отримати математичний опис процесу рівнянням регресії:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2, \quad (3.1)$$

де X_1, X_2 – значення факторів, що змінюються;

$b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти регресії, що розраховуються за наступними формулами:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y(i); \quad (3.2) \qquad b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n y(i)x1(i)x2(i)}{\sum_{i=1}^n (x1(i)x2(i))^2}; \quad (3.3)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y(i)x1(i)}{\sum_{i=1}^n x1(i)^2}; \quad (3.4) \qquad b_{11} = \frac{\sum_{i=1}^n y(i)x1^*(i)}{\sum_{i=1}^n x1^*(i)^2}; \quad (3.5)$$

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^n y(i)x2(i)}{\sum_{i=1}^n x2(i)^2}; \quad (3.6) \qquad b_{22} = \frac{\sum_{i=1}^n y(i)x2^*(i)}{\sum_{i=1}^n x2^*(i)^2}; \quad (3.7)$$

$$X_1^*(i) = x1(i)^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x1(i)^2; \quad (3.8)$$

$$X_2^*(i) = x2(i)^2 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x2(i)^2. \quad (3.9)$$

Отримано рівняння регресії, які адекватно описують залежність властивостей керамічної лицьової цегли від компонентного складу композиції для захисного покриття:

$$W = 2,044 - 0,017 \cdot X_1 + 0,033 \cdot X_2 - 0,1 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,017 \cdot X_1^2 - 0,067 \cdot X_2^2;$$

$$A = 5,967 - 0,05 \cdot X_1 - 0,067 \cdot X_2 + 0,25 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,15 \cdot X_1^2 + 0,2 \cdot X_2^2;$$

$$F = 56,222 + 0,167 \cdot X_1 - 0,167 \cdot X_2 + 0,5 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,833 \cdot X_1^2 + 0,167 \cdot X_2^2,$$

де X_1 – вміст ПМФС, X_2 – вміст алюміній оксиду.

Визначено оптимальні склади вихідних композицій для захисних покриттів, мас. %: КО-85 – 30–40, Al_2O_3 – 40–60, Fe_2O_3 (Cr_2O_3) – 10–20, мінеральна вата – 3–5.

Властивості наповнених композицій визначаються ступенем завершеності процесів взаємодії активних центрів наповнювача та реакційно-здатних груп ПМФС, міцності контактів на межі наповнювач-полімер. Вихідні склади композицій для покриттів обирали, виходячи з умов одержання атмосферостійких захисних покриттів для лицьової цегли. Оксидні та силікатні компоненти

термохімічно активізували при температурі 500 °С для видалення з них адсорбованої та зв'язаної води. Композиції для захисних покриттів готували методом сумісного помелу компонентів у кульових млинах до досягнення максимального розміру дисперсних частинок не більше 50 мкм. Склади вихідних композицій наведені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Варіанти складів вихідних композицій для захисних покриттів на основі наповненого ПМФС

Варіант складу композиції	Вміст компонентів, мас. %				
	KO-85	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Мінеральна вата
1	30	60	10	-	3
2	35	50	15	-	4
3	40	40	20	-	5
4	30	60	-	10	3
5	35	50	-	15	4
6	40	40	-	20	5

Колір отриманого покритого матеріалу залежить від вмісту забарвлюючого оксиду. Вміст заліза оксиду від 10 до 20 мас. % змінює колір покриття від вишневого до темно-коричневого, а хрому оксиду від світло-зеленого до темно-зеленого.

З врахуванням результатів досліджень для отримання захисних покриттів досліджено вплив режиму затвердіння на його мікротвердість.

Для цього вибрано наступні режими:

- 1) 2 години при температурі 353К;
- 2) 1 година при температурі 423К;
- 3) 0,5 годин при температурі 473К;
- 4) 24 години при кімнатній температурі 293К.

Аналіз результатів дослідження показує, що найвищі показники мікротвердості захисних покриттів отримано за 2 режимом затвердіння

(237,1...241,5) МПа). Його значення в основному залежить від виду наповнювача. Найнижчими показниками мікротвердості володіють покриття, які затвердівали за 4 режимом. Проте, із врахуванням технологічних умов затвердіння за вказаними режимами зразки досягли достатньо високих показників мікротвердості (207,2...214,5 МПа). У водонасиченому стані міцність керамічної лицьової цегли частково зменшується за рахунок розклинюючої дії води. Дослідженнями встановлено, що коефіцієнт розм'якшення обробленої керамічної лицьової цегли вищий за 0,8, що підтверджує доцільність використання розроблених складів захисних покриттів.

При експлуатації покритої захисними покриттями лицьової цегли проходить старіння, яке супроводжується незворотними хімічними і фізичними процесами під дією зовнішніх і внутрішніх факторів. Ознаками руйнування покриття є їх розтріскування, відшарування, втрата маси і кольору та інше. При цьому, також змінюються механічні, фізико-хімічні і антикорозійні властивості, що може привести до втрати захисних властивостей.

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 трирівневого експерименту. В якості змінних факторів (табл. 3.4) вибрано вміст поліметилфенілсилоксанового лаку ($X_1=30; 35; 40$ мас.%) і кількість нано-порошку Al_2O_3 ($X_2=0; 0,5; 1,0$ мас.%) (відповідно вміст наповнювачів: оксидів алюмінію та феруму складає 55...65 %).

Таблиця 3.4

Характеристика планування експерименту

Характеристика	Параметри планування	
	КО-85, мас. % (X_1)	нано- Al_2O_3 , мас. % (X_2)
Головний рівень "0"	35	0,5
Нижній рівень "-1"	30	0
Верхній рівень "+1"	40	1,0

Функціями відгуку прийнято водопоглинання (Y_{Wm}) та капілярне підтягування (Y_W). Основні характеристики плану експерименту та результати повного двофакторного експерименту наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Матриця планування і результати повного двофакторного експерименту

Матриця планування		Водопоглинання, W_m , %	Капілярне підтягування, W , $\text{кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$
X_1	X_2		
-1	-1	4,76	2
0	-1	3,92	1,8
+1	-1	3,08	1,4
-1	0	2,52	1,2
0	0	3,08	1,4
+1	0	1,4	0,5
-1	+1	1,96	0,9
0	+1	1,12	0,45
+1	+1	0,56	0,25

У результаті оброблення планів та відповідних їм експериментальних даних за методом найменших квадратів отримано рівняння регресії водопоглинання (Y_{Wm}) та капілярного підтягування (Y_W), що адекватно описують залежність показників, як критеріїв оптимізації системи, від змінних факторів:

$$Y_{Wm} = 2,11 - 0,030 \cdot X_1 + 0,017 \cdot X_2 - 0,067 \cdot X_{12} - 0,117 \cdot X_{22} - 0,150 \cdot X_1 X_2;$$

$$Y_W = 1,15 - 0,325 \cdot X_1 - 0,600 \cdot X_2 - 0,175 \cdot X_{12} + 0,100 \cdot X_{22} - 0,012 \cdot X_1 X_2.$$

На основі графічної інтерпретації отриманих математичних моделей встановлено, що оптимальна область введення нано- Al_2O_3 знаходиться в межах 0,6...0,8 %. При обробленні поверхні нано-рідиною (кількість нано- Al_2O_3 – 0,8 %) водопоглинання зменшується до 1,2–1,6 %, показник водопоглинання при капілярному підтягуванні – до 0,08–0,12 $\text{кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$ (рис. 3.13).

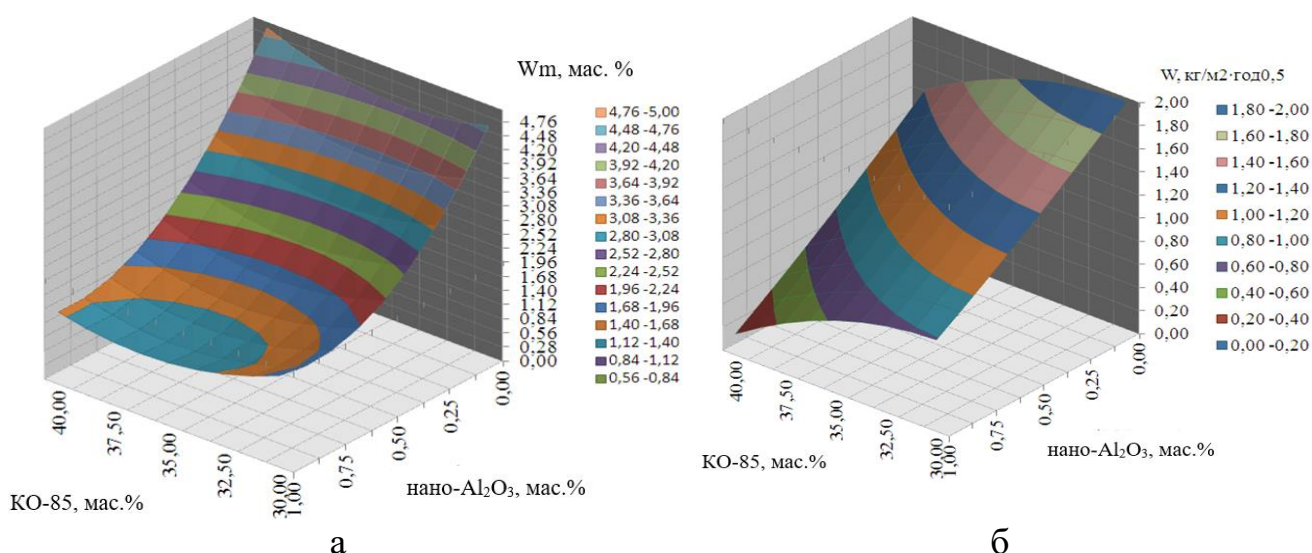


Рис. 3.13. Ізопараметричні діаграми зміни водопоглинання (а) та капілярного підтягування (б) керамічної лицьової цегли, модифікованої нано-рідиною

Отримані дані вказують на те, що таке покриття призводять до зниження показників водопоглинання, підвищення атмосферостійкості та морозостійкості. Це означає, що врахування даного факту відкриває можливість для ефективного регулювання експлуатаційних властивостей цегляної конструкції розробленими захисними складами нано-рідин з вмістом активного нано- Al_2O_3 проникної дії.

Такі висновки можуть вважатися за доцільні з практичної точки зору, тому що дозволяють обгрунтовано підходити до визначення необхідного виду модифікуючої речовини та її впливу на експлуатаційні властивості цегляних будівельних конструкцій.

3.4. Експлуатаційні властивості керамічної цегли, модифікованої захисними покриттями

Дослідженнями експлуатаційних властивостей показано (табл. 3.6), що для складів № 1–3 з вмістом 30...35 мас.% поліметилфенілсилоксанового лаку, 46...55 мас.% алюмінію оксиду, 10...15 мас.% заліза оксиду та 4...5 мас.% мінеральної вати водопоглинання знаходиться в межах 3,1–3,2 %, адгезійна

міцність 5,2–5,5 МПа, морозостійкість – 55–58 циклів. Для складів (35...40 мас.% поліметилфенілсилоксанового лаку, 50...55 мас.% порошку алюмінію оксиду, 10 мас.% заліза оксиду) з вмістом 0,6...0,8 мас.% нано- Al_2O_3 водопоглинання зменшується в 2–2,6 рази, адгезійна міцність зростає на 25–32,7 % та досягається марка за морозостійкістю F100.

Таблиця 3.6

Результати випробувань покриттів для керамічної лицьової цегли

№ п/п	Склад для покриття, мас.%	Водопоглинання, %	Адгезійна міцність, МПа	Морозостійкість, цикли
1	Поліметилфенілсилоксановий лак – 30 Алюмінію оксид – 55 Заліза оксид – 10 Мінеральна вата – 5	3,2	5,2	55
2	Поліметилфенілсилоксановий лак – 35 Алюмінію оксид – 46 Заліза оксид – 15 Мінеральна вата – 4	3,1	5,5	57
3	Поліметилфенілсилоксановий лак – 30 Алюмінію оксид – 55 Заліза оксид – 10 Мінеральна вата – 5	3,2	5,2	58
4	Поліметилфенілсилоксановий лак – 35 Алюмінію оксид – 55 Заліза оксид – 10 нано- Al_2O_3 – 0,8	1,2	6,9	100
5	Поліметилфенілсилоксановий лак – 40 Алюмінію оксид – 50 Заліза оксид – 10 нано- Al_2O_3 – 0,6	1,6	6,7	100

Висока водостійкість обробленої захисними покриттями керамічної цегли коригується з визначеними показниками коефіцієнта розм'якшення (табл. 3.7). Встановлено, що коефіцієнт розм'якшення для керамічної лицьової цегли без покриття складає 0,86. При обробленні цегли захисними покриттями ГФ-1, ГФ-2 та ГФ-3 коефіцієнт розм'якшення збільшується на 1,16–8,14 %. При модифікуванні поверхні керамічної цегли захисною нано-рідиною ($K_p = 1,17$) водостійкість підвищується на 36 %, що перевищує показник водостійкості керамічної клінкерної цегли ($K_p = 0,90$).

Таблиця 3.7

Визначення коефіцієнта розм'якшення для керамічної цегли

Керамічна цегла	Коефіцієнт розм'якшення, K_p					
	Без покриття	Варіант покриття				
		КО-85	ГФ-1	ГФ-2	ГФ-3	Нано-рідина
ККл/ОбПрОс/1НФ	0,90	-	-	-	-	-
КЛПр-1НФ	0,86	0,86	0,87	0,93	0,88	1,17

Технологічні та фізико-механічні властивості вихідних композицій для захисних покриттів наведені у табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Фізико-механічні властивості вихідних композицій та захисних покриттів

Варіант складу композиції	В'язкість за ВЗ-4 при 20°C, с	Сухий залишок, мас. %	Покривна здатність, г/м ²	Мікротвердість, МПа
1	30	80	230	243,1
2	26	78	250	234,5
3	29	79	260	248,7
4	26	77	270	238,0
5	25	78	275	240,7

Методом дефектоскопії з використанням трубки Карстена (рис. 3.14) встановлено, що найнижчим водопоглинанням ($0,002 \text{ мл/см}^2$) через 2 год витримки-падіння характеризується поверхня керамічної цегли, модифікована нано-рідиною, тоді як для цегли без покриття – $0,15 \text{ мл/см}^2$. 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 є неоднорідною з виступами та капілярними мікропорами (10–15 мкм). Компоненти нано-рідини формують всередині пор і на поверхні матеріалу не гладку плівку, а розгалуджену нанорозмірну структуру, що забезпечує утворення багаторівневої пористості. Потрапляючи на таку поверхню, вода проникає вглиб цих капілярів всього на кілька нанометрів, зупиняючись на поверхні цієї структури. Оскільки площа контакту води і твердого тіла в такому випадку близька до нуля, крапля води приймає форму сфери, яка легко рухома, тобто створюється супергідрофобний ефект. При цьому блокується підтягування водорозчинних солей з кладки.

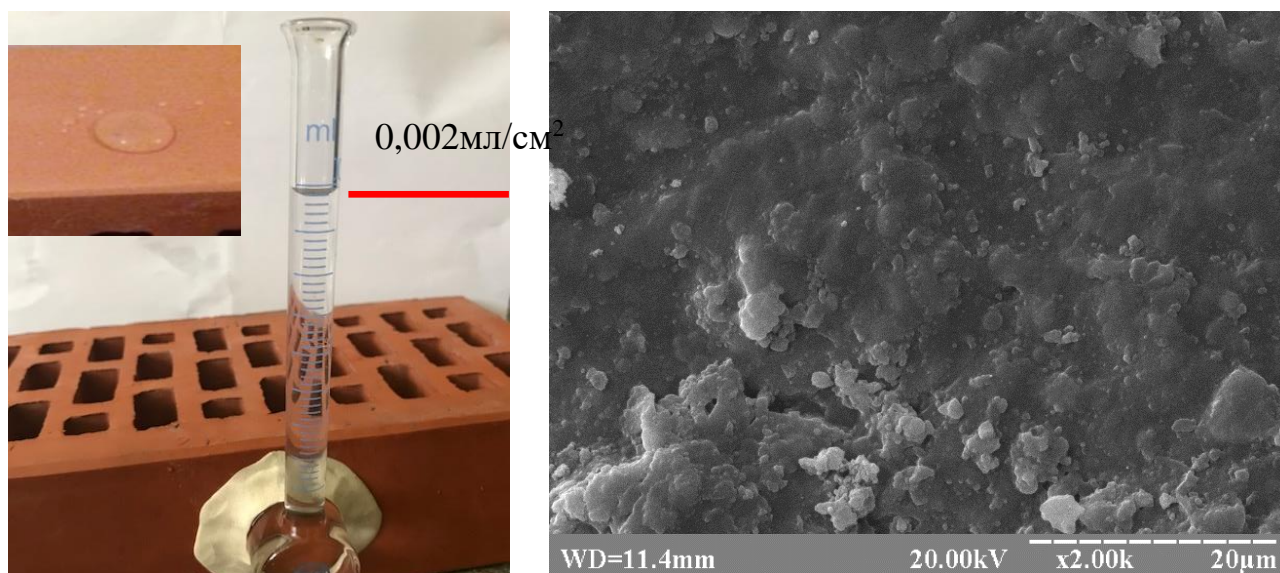


Рис. 3.14. Водопоглинання і мікроструктура керамічної цегли, обробленої нано-рідиною з використанням трубки Карстена

Стійкість захисного покриття до дії води вказує на доцільність вибору оксидних наповнювачів та нанодобавок. Дослідженнями водопоглинання встановлено, що крайовий кут змочування після 30 діб випробувань зменшується

на 2–6 °, що підтверджується високою водостійкістю покриття і його водовідштовхуючими властивостями.

Показником морозостійкості служить зменшення границі міцності на стиск, яке проявляється задовго до виникнення тріщин, або часткове руйнування цегли. Досліджено вплив захисного покриття на показник морозостійкості лицьової керамічної цегли за втратою маси та втратою міцності зразка після поперемінного заморожування і відтавання водонасиченої цегли та показник атмосферостійкості керамічної лицьової цегли за втратою маси зразка після поперемінного зволоження і висушування.

Основні показники керамічної лицьової цегли, без покриття та модифікованої нано-рідиною наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Основні показники керамічної лицьової цегли, покритої нано-рідиною та без покриття

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Значення показника	
		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	%	9,0	5,2
– втрата маси	%	8,6	1,9

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.

Ефективність нанесення нано-рідини обумовлена вільною енергією поверхні, також кольматуванням поверхні частинками нано- Al_2O_3 в складі гідрофобізуючої речовини. При цьому блокується підтягування водорозчинних солей з кладки. Оброблення нано-рідиною надає структурам рівномірний та більш щільний характер за рахунок утворення композиційної зшитої структури новоутвореними фазами, що забезпечує зменшення показників водопоглинання, збільшення атмосферо- та морозостійкості цегляної конструкції. Керамічна лицьова цегла, покрита розробленими захисними покриттями характеризується покращеними властивостями – пониженим водопоглинанням і капілярним підтягуванням, підвищеними атмосферостійкістю та морозостійкістю, що дозволить підвищити експлуатаційну надійність зовнішніх стін будівель та споруд.

Висновки до розділу

1. Експериментальними дослідженнями встановлено, що для керамічної клінкерної цегли пористість складає 13,6 %, водопоглинання – 5,2 %, показник водопоглинання при капілярному підтягуванні – $0,5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$. Керамічна лицьова цегла характеризується капілярною пористістю (21 %), що призводить до підвищення показників водопоглинання (16,5 %) та капілярного підтягування ($2,2 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$), а також утворення висолів на її поверхні. Дослідженнями висолоутворення встановлено, що висоли з керамічної цегли представлені

підвищеним вмістом SO_3 (51,2 мас.%), лужних оксидів Na_2O (36,7 мас.%) і K_2O (12,4 мас.%). Мікроструктура висолів з керамічної цегли характеризується різними фазами солей Na_2SO_4 і K_2SO_4 .

2. Проведеними дослідженнями встановлено, що при модифікуванні поверхні керамічної лицьової цегли кремнійорганічним лаком КО-85 водопоглинання зменшується від 16,5 до 13,2 мас.%. При використанні гідрофобізатора ГФ-1 пористість зменшується в 1,3...1,4 рази, водопоглинання – на 30 %, показник водопоглинання при капілярному підтягуванні – в 2 рази. При модифікуванні поверхні гідрофобізатором ГФ-2 водопоглинання зменшується від 16,5 до 5,9 %, показник водопоглинання при капілярному підтягуванні – в 2,6 рази (від 2,2 до 0,86 $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$), а при використанні ГФ-3 показник водопоглинання зменшується у 3,44 рази, капілярне підтягування – у 3,6 рази.

3. Результати експериментальних випробувань встановлено, що для модифікованої керамічної цегли, поверхня якої покрита ПМФС та ГФ-1 морозостійкість збільшується на 15 циклів порівняно з непокритою цеглою (F50), а з використанням ГФ-2 – на 20 циклів, ГФ-3 – на 25 циклів. При цьому, методом електронної мікроскопії встановлено, що після поперемінного заморожування і відтавання на поверхні цегли, модифікованої ПМФС та ГФ-1, спостерігається інтенсивне утворення мікротріщин, що підтверджено також дослідженнями водопоглинання – показник збільшився на 42 %. Для цегли, модифікованої ГФ-2 та ГФ-3 тріщини по поверхні зразка утворилися локально з меншим їх розкриттям, що призвело до збільшення водопоглинання на 28 %. Використання досліджуваних покриттів знижує захист цегляних конструкцій, що працюють в умовах підвищеної вологості та впливу зовнішніх агресивних факторів через низьку їх водостійкість за рахунок вимивання компонентів.

4. Методом математичного планування експерименту визначено, що найбільш ефективною гідрофобізуючою речовиною є модифікатор з вмістом порошку нано- Al_2O_3 (нано-рідина). Визначено, що при обробленні поверхні нано-рідиною (кількість нано- Al_2O_3 – 0,6...0,8 %) водопоглинання зменшується до 1,2–1,6 %, показник водопоглинання при капілярному підтягуванні – до 0,08–

0,12 кг/м²·год^{0,5}. Методом дефектоскопії за допомогою трубки Карстена встановлено, що водопоглинання для цегли, поверхня якої покрита нано-рідиною знижується від 0,15 до 0,002 мл/см², що свідчить про високий рівень гідрофобізації. Дослідженнями атмосферостійкості встановлено, що міцність на стиск для керамічної лицьової цегли, поверхня якої модифікована нано-рідиною знизилась на 1,8 % без утворення тріщин. При цьому для цегли, модифікованої нано-рідиною, морозостійкість збільшилась на 50 циклів та досягає марки F100.

Результати експериментальних досліджень даного розділу наведено в таких публікаціях:

1. 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.

2. 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 «ХПІ». – 2016. – № 22(1194). – С.44–49. – ISSN 2079-0821.

3. 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.

4. Пат.109910 Україна, МПК С09D5/00. Атмосферостійке захисне покриття / Гивлюд М.М., Семенів Р.М. – № u201603937; заявл. 11.04.2016; опубл. 12.09.2016, Бюл. №17. – 4 с.

5. 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.

6. Studying the effect of nano-liquids on the operational properties of brick building structures / T. Kropyvnytska, R. Semeniv, R. Kotiv, A. Kaminsky, 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).

7. 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.

8. Кропивницька Т. П. Вплив нанорідин на стійкість зовнішніх цегляних стін будівель і споруд щодо висолоутворення / Т. П. Кропивницька, Р. М. Семенів, А. Т. Камінський // Збірник тез доповідей II міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні». Харків, 2018. – С.127–128.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ЦЕМЕНТІВ ДЛЯ МУРУВАННЯ

Широке використання будівельних розчинів у технології сучасного будівництва зумовлює підвищення вимог до якості розчинових сумішей та показників якості затверділого будівельного розчину. На сьогодні для кам'яної кладки використовують переважно цементні або змішані розчини, які містять мінеральні пластифікуючі добавки (вапняне тісто), що вводяться з метою забезпечення необхідної легковкладальності та водоутримувальної здатності розчинових сумішей. При проведенні мурувальних робіт необхідно виключити розшарування, седиментацію, а також забезпечити однорідність кладки, достатню міцність та еластичність для попередження релаксацій напружень без тріщиноутворення. Водночас отримати високорухомі розчинові суміші у виробничих умовах є технологічно складно: вони потребують підвищених витрат цементу та води, що призводить до значного водовідділення та розшарування. Це означає, що будівельні розчини повинні мати високу функціональність, а їхня технологія потребує нового підходу до створення цементної матриці завдяки розробленню спеціальних цементів для будівельних розчинів.

4.1 Дослідження процесів висолоутворення будівельного розчину

Важливе значення в процесі експлуатації цегляної кладки має будівельний розчин. На сьогоднішній день в будівництві широкого використання набули будівельні розчини, приготовані з використанням різних типів портландцементів

та інших неорганічних в'язучих речовин. Показники якості будівельних розчинів залежать, в першу чергу, від типу використаного цементу (тип I, тип II, тип III), тонини його помелу, мінералогічного складу та вмісту гіпсу, який є регулятором термінів тужавлення, а також від впливу мінеральних та хімічних добавок.

Проведено дослідження фізико-механічних властивостей будівельних розчинів на основі цементів ПЦ II/A-Ш-400Р-Н, ПЦ II/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н та ЦБР 300 (Ц=280 кг на 1 м³ піску, марка за рухомістю П8) з добавкою вапняного тіста в кількості 20 % від маси цементу та добавкою пластифікуюче-повітровтягувальної дії Master Air 81 в кількості 0,09 % від маси цементу. Результатами досліджень встановлено, що будівельні розчини на основі ПЦ II/A-Ш-400Р-Н з добавкою вапняного тіста (В/Ц = 1,1) характеризуються середньою густиною 1983 кг/м³, маркою за рухомістю П8 та маркою за міцністю М100 (табл. 4.1). При введенні добавки повітровтягувальної дії, середня густина розчинової суміші зменшується на 15 %. При цьому забезпечується марка за міцністю М75. Разом з тим, будівельні розчини на основі ПЦ II/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н з добавкою вапняного тіста (В/Ц = 0,93) характеризуються середньою густиною розчинової суміші 1970 кг/м³, маркою за рухомістю П8 та маркою за міцністю М100 (табл. 4.1), а з додаванням повітровтягувальної добавки марка за міцністю будівельного розчину знижується до М75. Експериментальними дослідженнями встановлено, що для складних будівельних розчинів 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 %, а розшаровування – 8,2–5,4 %. Будівельні розчини на основі ЦБР 300 з додаванням повітровтягувальної добавки досягають марки за міцністю М75, марки за рухомістю П8 та середньої густини – 1779 кг/м³.

Збільшення закритої пористості підвищує довговічність кладки за рахунок зменшення водопоглинання і підвищення морозостійкості. При експлуатації будівельних розчинів в умовах впливу навколишнього середовища через відкриті пори потрапляє вода і утворюються висоли на їх поверхнях.

Таблиця 4.1

Фізико-механічні властивості будівельних розчинів

Вміст добавки, мас. %		В/Ц	Середня густина розчинової суміші, $\rho_{\text{сер.}}, \text{ кг/м}^3$	Рухомість, см	РК, мм		Міцність на згин, МПа, у віці, діб		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб	
Добавка ПВ	Вапно гашене				РК ₁₅	РК ₃₀	7	28	7	28
ПЦ II/A-III-400P-H										
-	20	1,1	1983	7,0	201	250	3,98	5,02	5,76	14,5
0,09	-	0,93	1701	7,0	188	220	1,39	3,8	3,94	9,65
ПЦ II/B-K(III-B-II)-400P-H										
-	20	1,05	1970	7,7	214	240	2,28	4,69	9,2	14,9
0,09	-	0,87	1750	7,3	185	222	1,29	3,75	6,46	11,0
ЦБР 300										
0,09	-	0,8	1779	8,0	205	238	0,77	2,6	3,15	9,6

Експериментальними дослідженнями встановлено, що для будівельного розчину (марка за рухомістю П8) марки за міцністю М100 на основі портландцементів ПЦ II/A-III-400P-H з добавкою вапняного тіста загальна пористість складає 20,76 % (відкрита – 11,72 %, закрита – 9,05 %), водопоглинання за масою – 3,91 %, а з добавкою повітровтягувальної дії загальна пористість збільшується до 29,33 %, водопоглинання за масою – до 5,44 % (табл. 4.2). Будівельні розчини на основі ПЦ II/B-K(III-B-II)-400P-H з добавкою вапна характеризуються загальною пористістю 21,21 % (відкрита – 11,76 %, закрита – 9,45 %) та водопоглинанням за масою – 4,61 %. При введенні добавки повітровтягувальної дії, загальна пористість такого розчину складає 25,75 %, водопоглинання за масою – 4,82 %. Загальна пористість розчину на основі ЦБР 300 з додаванням повітровтягувальної добавки становить 33,15 % (відкрита – 13,42 %, закрита – 19,73 %).

закрита – 19,73 %), водопоглинання за масою – 11,35 %. Показники пористості та водопоглинання розчинів наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Показники пористості та водопоглинання будівельних розчинів

Вміст добавки, мас. %		Порис- тість, П, %	Пористість, %		Водопо- глинання за масою, W_m , %
Добавка ПВ	Вапняне тісто		Відкрита Пв, %	Закрита Пз, %	
ПЦ II/A-III-400P-N					
-	20	20,76	11,72	9,05	3,91
0,09	-	29,33	10,00	19,33	5,44
ПЦ II/Б-К(III-В-П)-400P-N					
-	20	21,21	11,76	9,45	4,61
0,09	-	25,75	9,30	16,45	4,82
ЦБР 300					
0,09	-	33,15	13,42	19,73	11,35

Особливо висоли проявляються на кладці при використанні розчинів на основі портландцементів з підвищеним вмістом клінкеру та добавкою вапна. При цьому, гідроксид кальцію, що є продуктом гідратації портландцементу, вимивається на поверхню матеріалу і при взаємодії повітря з CO_2 утворюються висоли. З іншої сторони, підвищений вміст $Ca(OH)_2$ в цементно-вапняних розчинах призводить до інтенсивнішого вимивання вапна і подальшої карбонізації на поверхні кладки з утворенням нерозчинних карбонатно-кальцієвих виквітів.

Дослідженнями висолоутворення згідно ДСТУ Б В.2.7-171:2008 визначено, що при обдуванні зразків протягом 7 діб утворились локальні білі плями. Візуальними спостереженнями встановлено, що на зразках будівельного розчину з використанням ПЦ II/A-III-400P-N, ПЦ II/Б-К(III-В-П)-400P-N та вапняного тіста

утворились висоли (рис. 4.1, а, б) в значній кількості. В той час, як на зразках будівельного розчину на основі ЦБР 300 висоли не утворились (рис. 4.1, в). Аналіз результатів досліджень показує, що хімічний склад висолів з будівельного розчину (рис. 4.2) характеризується високим вмістом CaO (29,9 мас.%) і невеликою кількістю SiO_2 (5,8 мас.%). При цьому вміст SO_3 складає 7,52 мас.%, Na_2O – 3,6 мас.%, K_2O – 2,5 мас.%.

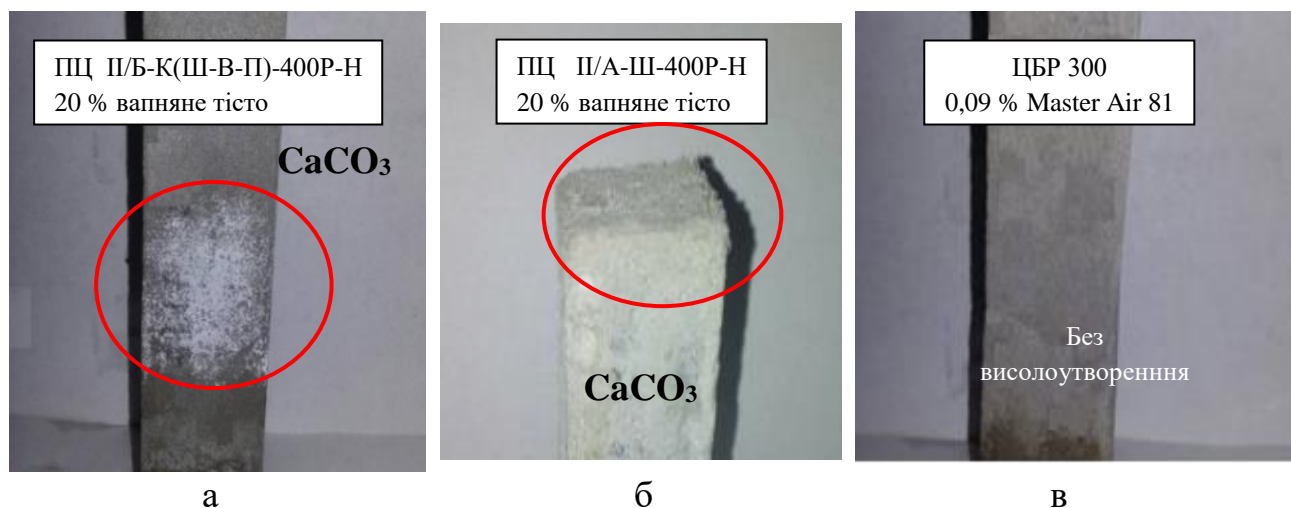


Рис. 4.1. Висолоутворення будівельних розчинів

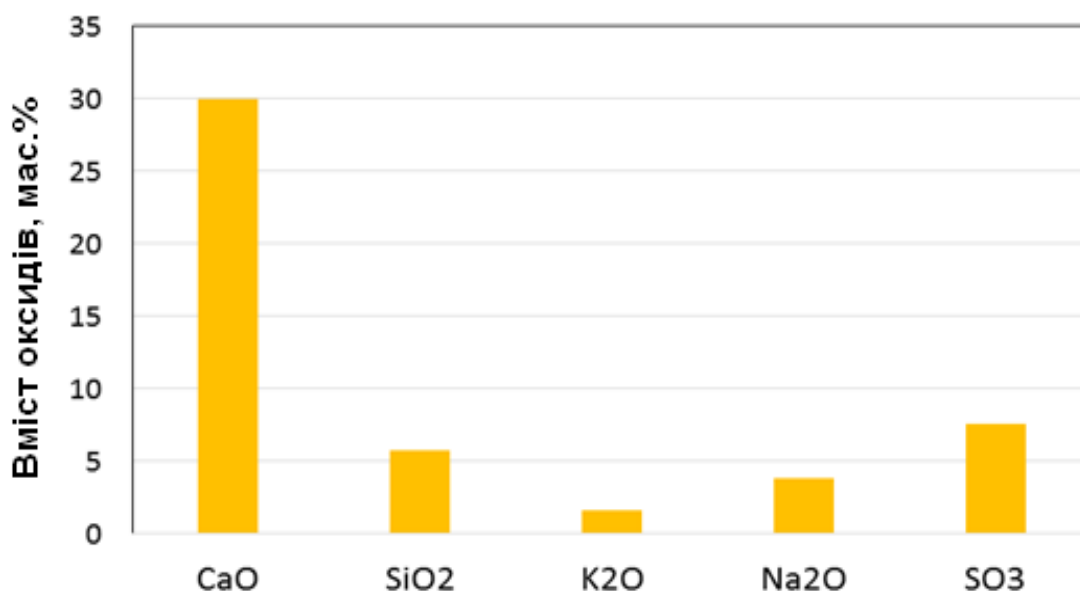


Рис. 4.2. Хімічний склад висолів з будівельного розчину

Згідно даних рентгенофазового аналізу (рис. 4.3) показано, що висоли з будівельного розчину характеризуються лініями кальциту CaCO_3 ($d/n=0,303$; $0,249$; $0,228$ нм), кварцу ($d/n=0,334$ 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 рефлексії сингеніту ($d/n=0,951$; 0,285 нм).

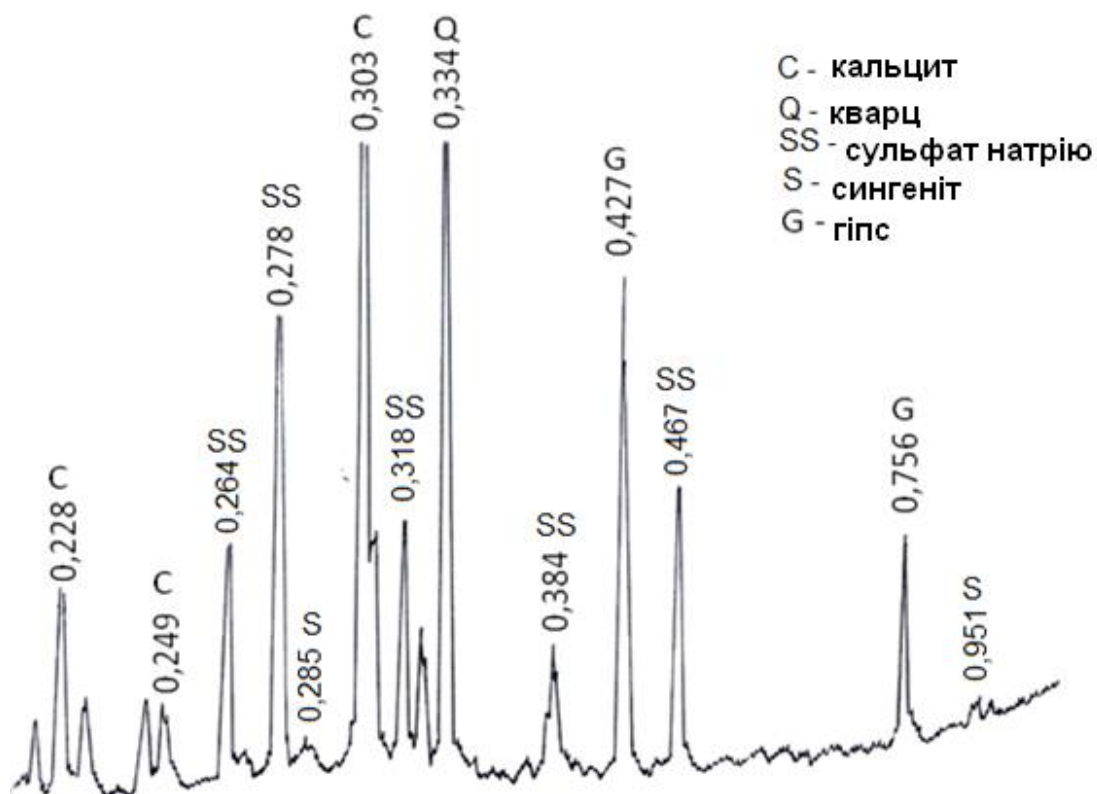


Рис. 4.3. Дифрактограма висолів з будівельного розчину

Згідно даних електронної мікроскопії, основною мінеральною фазою висолів з мурувального розчину є кальцит з домішкою безводного сульфат натрію – тенардит і зернами кварца (рис. 4.4, а, б, в). Слід зазначити про переважаюче підвищення концентрації іонів Ca^+ та SO_4^{2-} , внаслідок утворення двоводного гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Утворені висоли призводять до естетично понижених, деструктивних та руйнівних явищ в цегляній кладці. Даними мікрозондового рентгеноспектрального аналізу підтверджено утворення кальциту та утворення сульфату натрію на поверхні будівельного розчину (рис. 4.4, г, д).

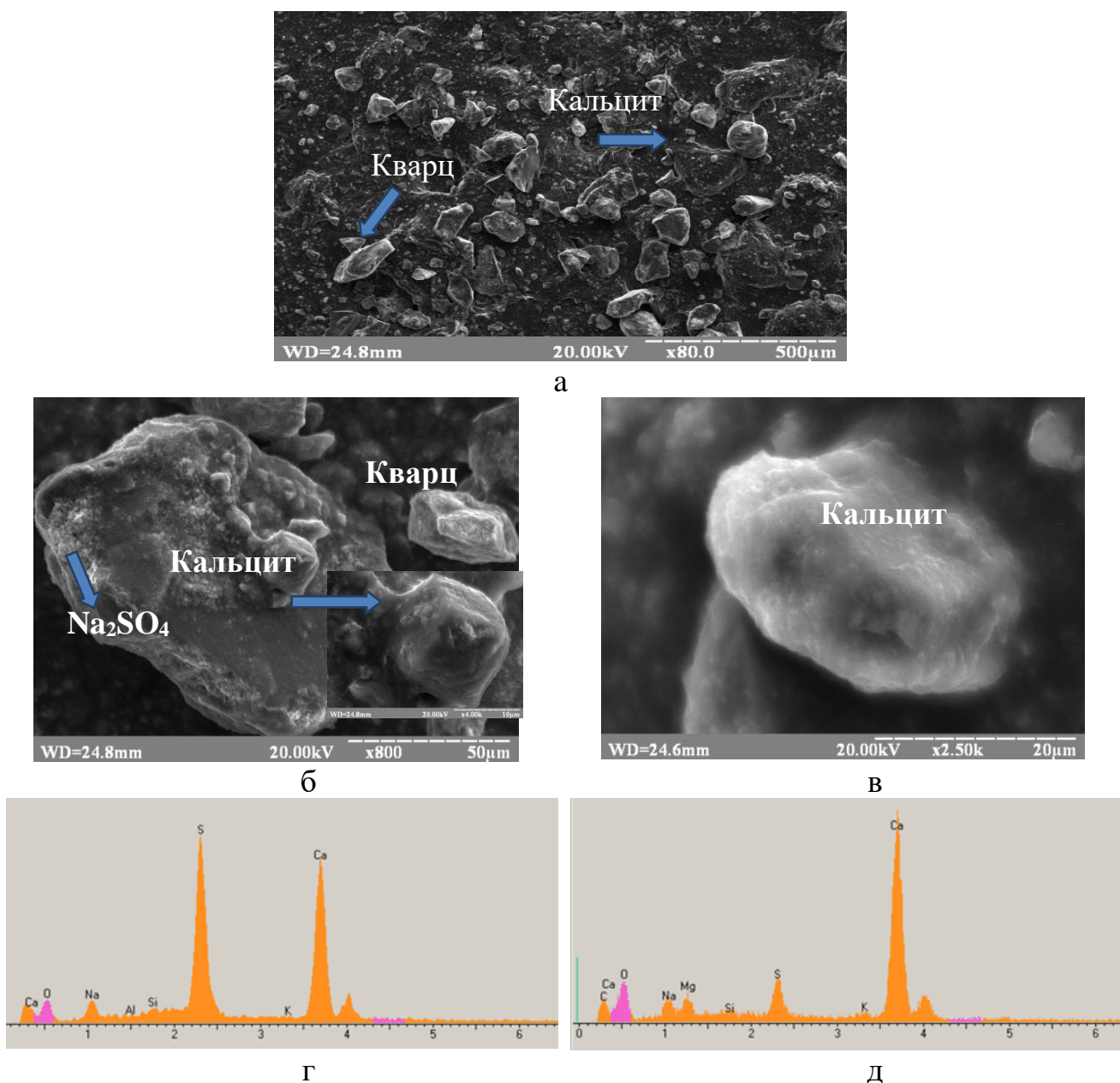


Рис. 4.4. Мікроструктура (а, б, в) та рентгеноспектральний аналіз (г, д) висолів з будівельного розчину

Дослідженнями встановлено, що модифікування поверхні будівельного розчину гідрофобізуючими речовинами сприяє підвищенню експлуатаційної надійності цегляних конструкцій. Експериментально підтверджено підвищення водопоглинання та ущільнення мікроструктури будівельного розчину за рахунок поверхневого модифікування гідрофобізуючими речовинами. Так, при обробленні поверхні розчинів гідрофобізатором ГФ-2 водопоглинання зменшується до 2,5 %. При цьому показник водопоглинання при капілярному підтягуванні знижується в 4,8 рази і складає $0,2 \dots 0,17 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$ (рис. 4.5).

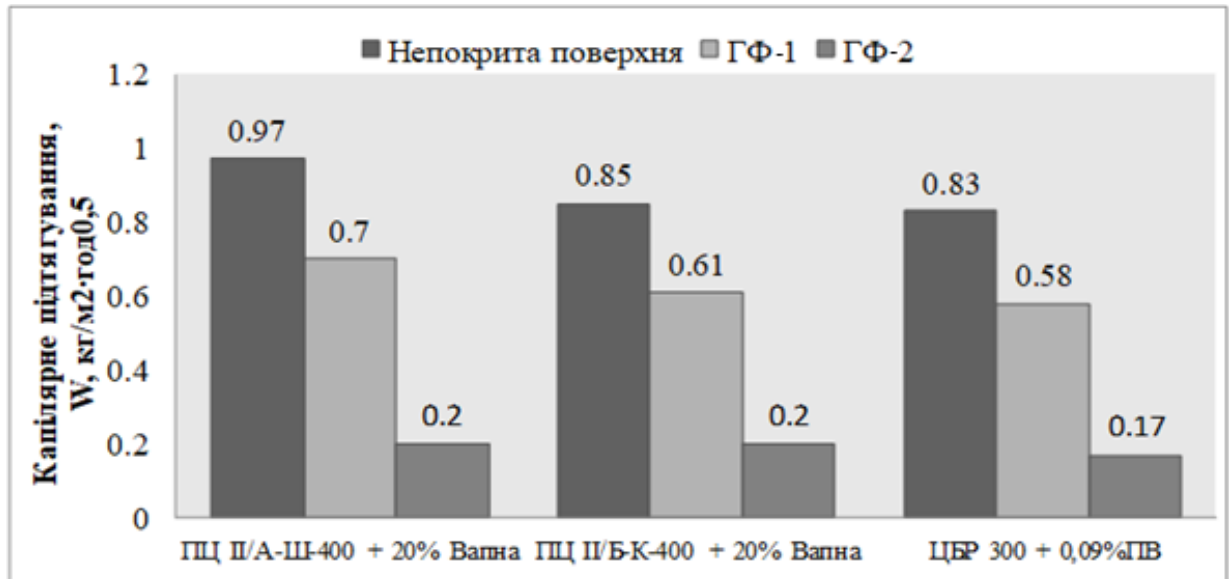
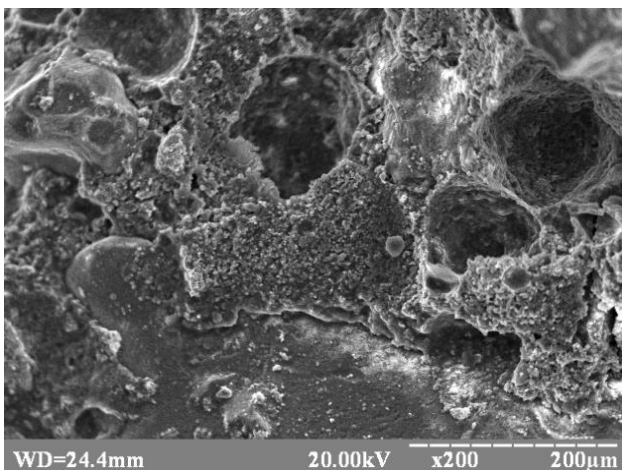
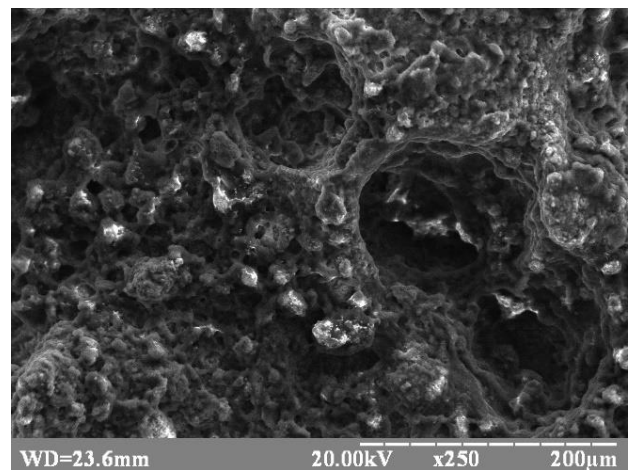


Рис. 4.5. Показники водопоглинання при капілярному підтягуванні будівельних розчинів, непокритих і покритих гідрофобізаторами

Як видно з рис. 4.6, а, для складного будівельного розчину характерна пориста структура з розподіленими в цементній матриці повітряними порами діаметром 80-150 мкм. Модифікування поверхні розчину гідрофобізаторами не забезпечує достатньої щільності мікроструктури та зниження пористості (рис. 4.6, б).



а



б

Рис. 4.6. Мікроструктура складного будівельного розчину, непокритого (а) та покритого (б) гідрофобізатором

Отже, модифікування складних будівельних розчинів гідрофобізуючими речовинами не забезпечує покращених показників якості розчину для підвищення експлуатаційної надійності зовнішніх стін.

4.2 Розроблення та дослідження низькоемісійних багатокomпонентних цементів для мурування МС 22,5

Можливість використання модифікованих цементів у технології будівельного виробництва значною мірою визначається властивостями будівельних розчинів на їх основі. Високий вміст клінкеру в портландцементних та наявність вапна у складі будівельного розчину призводить до утворення висолів. Для одержання легкокладальних розчинових сумішей без розшаровування та попередження висолоутворення на поверхні кладки зовнішніх стін розробляли спеціальні багатокomпонентні цементні з низьким вмістом портландцементного клінкеру (клінкер-фактор – 40 %), модифіковані добавками пластифікуюче-повітровтягувальної дії. Результати експериментальних досліджень свідчать, що для стандартного цементно-піщаного розчину на основі багатокomпонентного цементу – 40 мас.% портландцементний клінкер, 3,5 мас.% гіпс, 20 мас.% ГДШ, 20,5 мас.% природний цеоліт, 16 мас.% вапняк ($S_{\text{пит.}} = 7800 \text{ см}^2/\text{г}$) при В/Ц = 0,41 розпливу конуса складає 112 мм, границя міцності при стиску через 2 і 7 діб становить 12 і 20,3 МПа відповідно (табл. 4.3). При введенні 0,1 мас.% Master AIR 81 при В/Ц = 0,41 розплив конуса збільшується до 121 мм, а міцність зменшується, як у ранньому, так і в проектному віці тверднення. За рахунок водоредукуючого ефекту 7,3 % (В/Ц = 0,38) досягається початковий розплив конуса 112 мм, а границя міцності на стиск збільшується у всі терміни тверднення і становить через 2, 7 та 28 діб відповідно 12,0; 21,2 і 31,9 МПа.

Технологічна оптимізація за рахунок комбінування мінеральних добавок ГДШ, цеоліту та вапняку, а також добавки пластифікуюче-повітровтягувальної дії в заводських умовах ПрАТ «Івано-Франківськцемент», дозволяє отримати модифіковані низькоклінкерні багатокomпонентні цементні для мурування. Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що для модифікованого багатокomпонентного 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 В/Ц = 1,0 становить 9,7 об. %.

Таблиця 4.3

Вплив модифікатора пластифікуюче-повітровтягувальної дії на фізико-механічні властивості багатокomпонентного цементу

Кількість Master AIR 81, мас.%	В/Ц	РК, мм	Границя міцності на стиск, МПа, у віці, діб		
			2	7	28
-	0,41	112	12,0	20,3	29,0
0,1	0,41	121	8,0	15,5	22,8
0,1	0,38	110	12,0	21,2	31,9

Як видно з рис. 4.7, 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 (В/Ц = 0,5) встановлено, що РК = 162 мм, границя міцності на стиск через 2; 7 і 28 діб тверднення становить 8,0; 15,7 і 25,2 МПа, що відповідає цементу класу 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. Випробуваннями розчинової суміші на основі МС 22,5 (ДСТУ Б EN 413-2:2015) стандартної консистенції, глибина занурення Плуножера складає 38 мм (згідно вимог 35 ± 3 мм). Для модифікованого багатокomпонентного цементу МС 22,5 за рахунок підвищеного вмісту мінеральних добавок і наповнювачів світлих відтінків коефіцієнт відбиття становить 61 %, коефіцієнт розм'якшення складає 0,91.

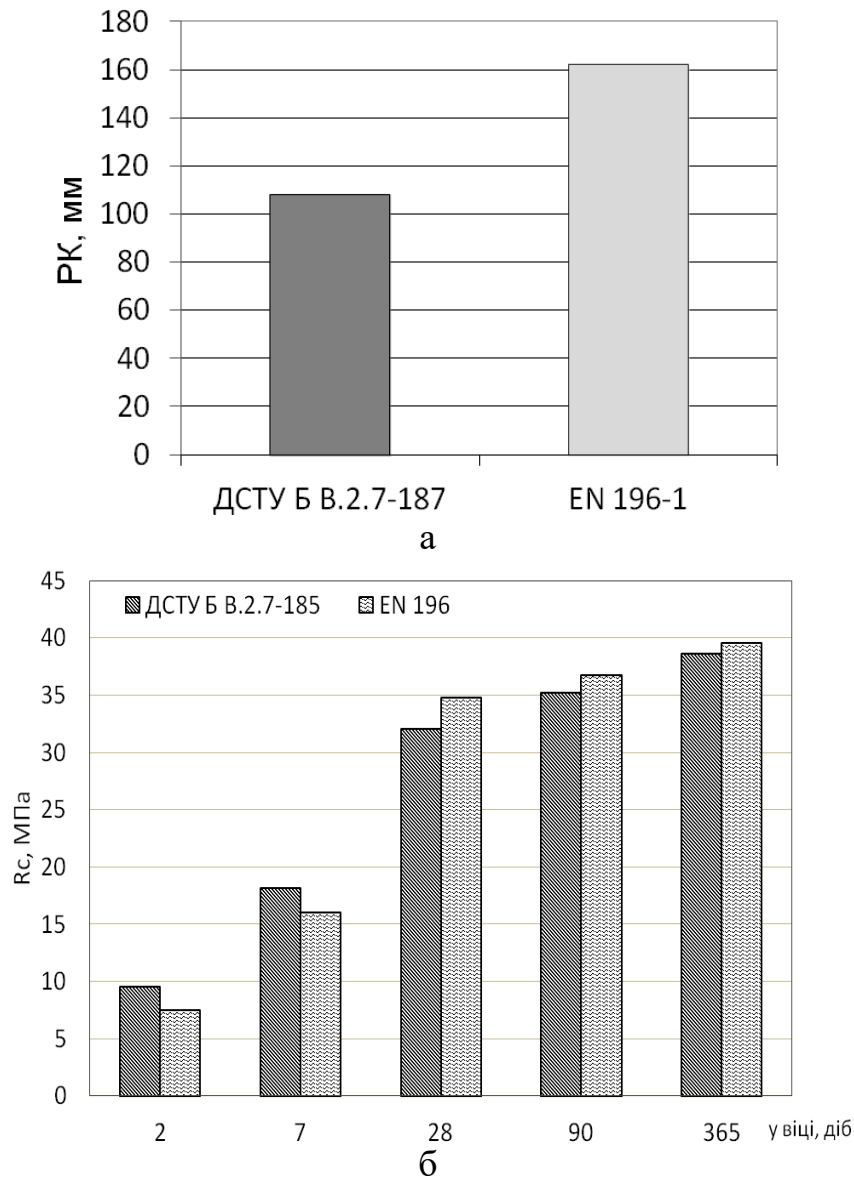


Рис. 4.7. Рухомість (а) та міцність (б) цементу для мурування МС 22,5 згідно ДСТУ Б В.2.7-187 та EN 196-1

Дослідження фазового складу та мікроструктури модифікованого цементу для мурування. Тверднення модифікованих цементів проходить в результаті сумісного впливу процесів гідратації клінкерної складової і реакцій хімічної взаємодії гідратних новоутворень з активними компонентами мінеральних добавок в неклінкерній частині цементного каменю. Введення активних мінеральних добавок та мікронаповнювачів до модифікованого цементу супроводжується сповільненням процесів раннього структуроутворення, що спричиняє відтягування термінів тужавлення та зменшення ранньої міцності штучного каменю.

Як видно з табл. 4.4, цемент для мурування МС 22,5 (тісто 1:0) характеризується підвищеною водопотребою (НГТ = 31 %), при цьому терміни початку і кінця тужавлення становлять відповідно 170 хв та 290 хв. Так, через 1 та 3 доби тверднення міцність каменю становить відповідно 7,9 та 19 МПа відповідно. В подальші терміни тверднення, через 28 і 56 діб, міцність на стиск досягає 55,5 і 60,0 МПа відповідно.

Таблиця 4.4

Фізико-механічні властивості цементу для мурування МС 22,5 (Тісто 1:0)

S _{пит} , М ² /КГ	A ₀₀₈ , %	НГТ, %	Терміни тужавіння, хв		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб					K _{об} , %
			Поч.	Кін.	1	3	7	28	56	
851	2,4	31	170	290	7,9	19	34,1	55,5	60	12,95

При гідратації багатокомпонентних цементів проходять два послідовні процеси – реакція клінкерних мінералів з водою та взаємодія активних оксидів мінеральних добавок з кальцію гідроксидом в неклінкерній частині цементуючої матриці. 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 $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ ($d/n=0,76$; 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 висолоутворенню. Як видно з рис. 4.8, на дифрактограмі незначна інтенсивність рефлексів кальцію гідроксиду вказує на прискорення процесів реакції пуцоланізації. Незважаючи на зниження вмісту клінкерних мінералів (40 мас.%) у модифікованому цементі для мурування,

утворення гідратних фаз відбувається за рахунок збалансованого хімічного складу в'язучого.

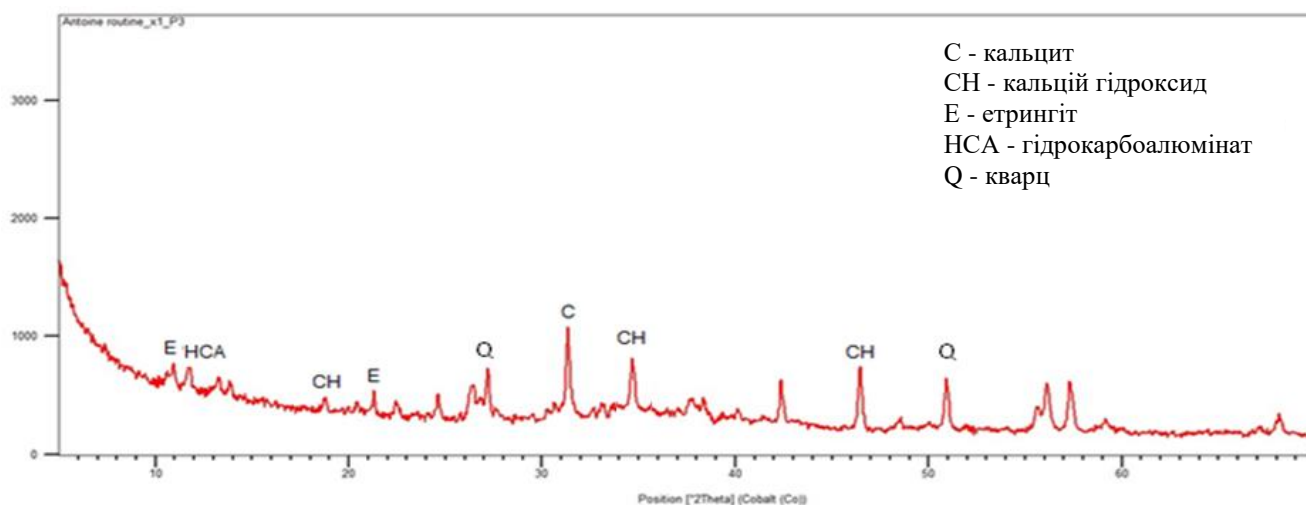


Рис. 4.8. Дифрактограма каменю на основі МС 22,5 через 28 діб гідратації

Цеоліт виступає в якості активуючого компонента системи «портландцементний клінкер – цеолітовий туф – вапняк», збільшується кількість активних центрів кристалізації на поверхні зерен клінкеру та зростає рН середовища, що зумовлює підвищення гідравлічної активності системи. Згідно даних мікрозондового рентгеноспектрального аналізу, у відкритій порі фіксуються поодинокі гексагональні пластинки портландиту в загальній масі фази С-S-H, а в міжпоровому просторі кристалізується еtringіт у вигляді дрібних голкоподібних кристалів розміром 0,5–1,5 мкм, що сприяє синтезу міцності каменю за рахунок його ущільнення. Експериментальними дослідженнями визначено рН цементу МС 22,5, яке змінюється від 11,96 до 12,47 протягом доби (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Кінетика зміни рН цементів

Матеріал	Значення рН				Середовище
	5 хв	1 год	4 год	24 год	
ПЦІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н	12,55	12,58	12,53	-	лужне
МС 22,5	11,96	12,21	12,29	12,47	лужне

Методом електронної растрової мікроскопії (рис. 4.9) встановлено, що ущільненню мікроструктури та кольматуванню пор гідратованого цементного

каменю на основі МС 22,5 значною мірою сприяють голчаті AF_t -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. В результаті ефекту “дрібних порошоків” частинки $CaCO_3$ розсувають зерна тверднучої системи та виступають як мікронаповнювач, що при відведенні продуктів гідратації прискорює процеси тверднення, сприяє ущільненню каменю та зростанню його міцності.

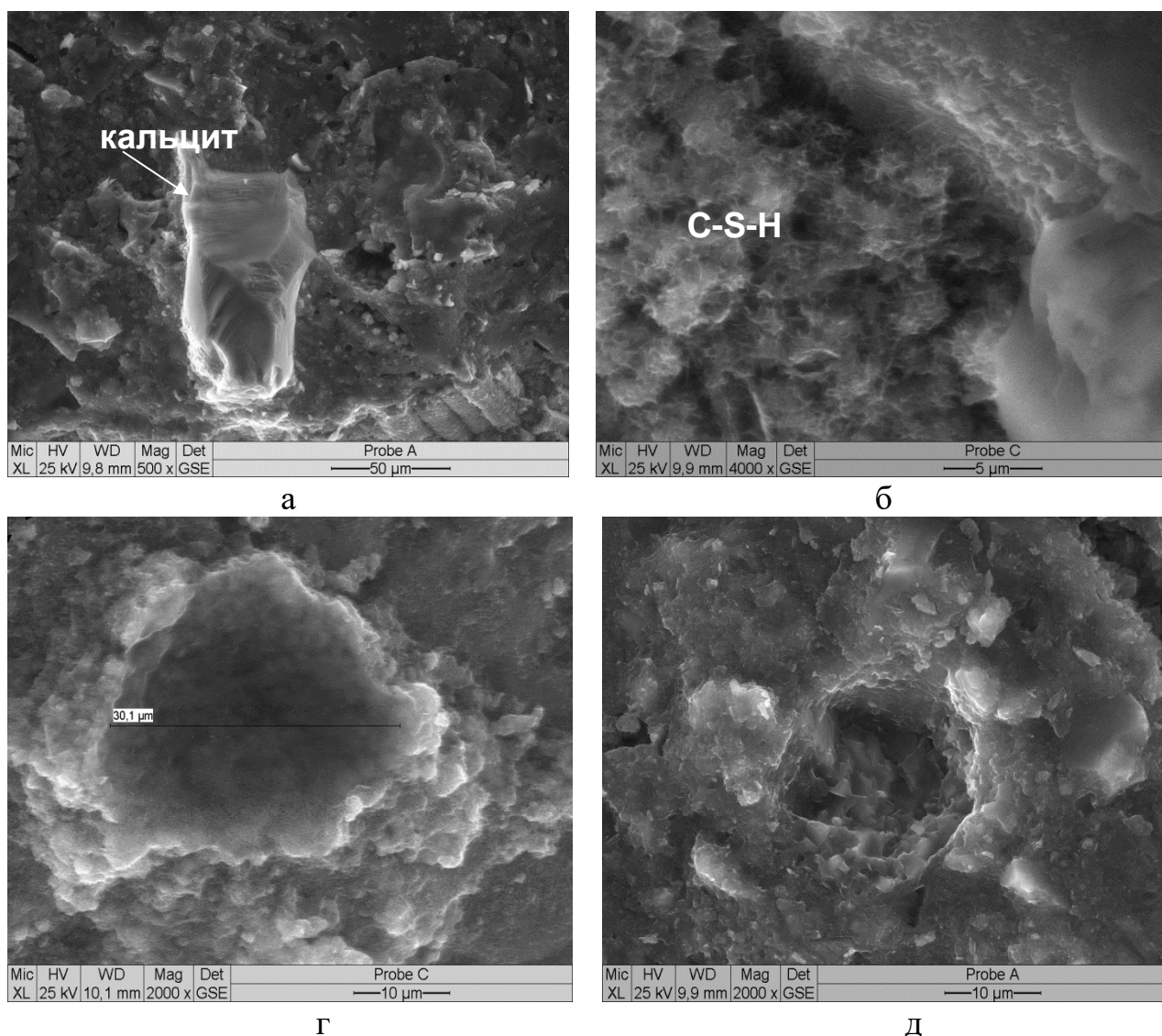


Рис. 4.9. Мікроструктура з поверхні сколу цементного каменю МС 22,5

Зазначимо, що добавки пластифікуюче-повітровтягувальної дії призводять до утворення в камені системи повітряних замкнених 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементному камені на основі МС 22,5 складає 6,9 мас.% (рис. 4.10).

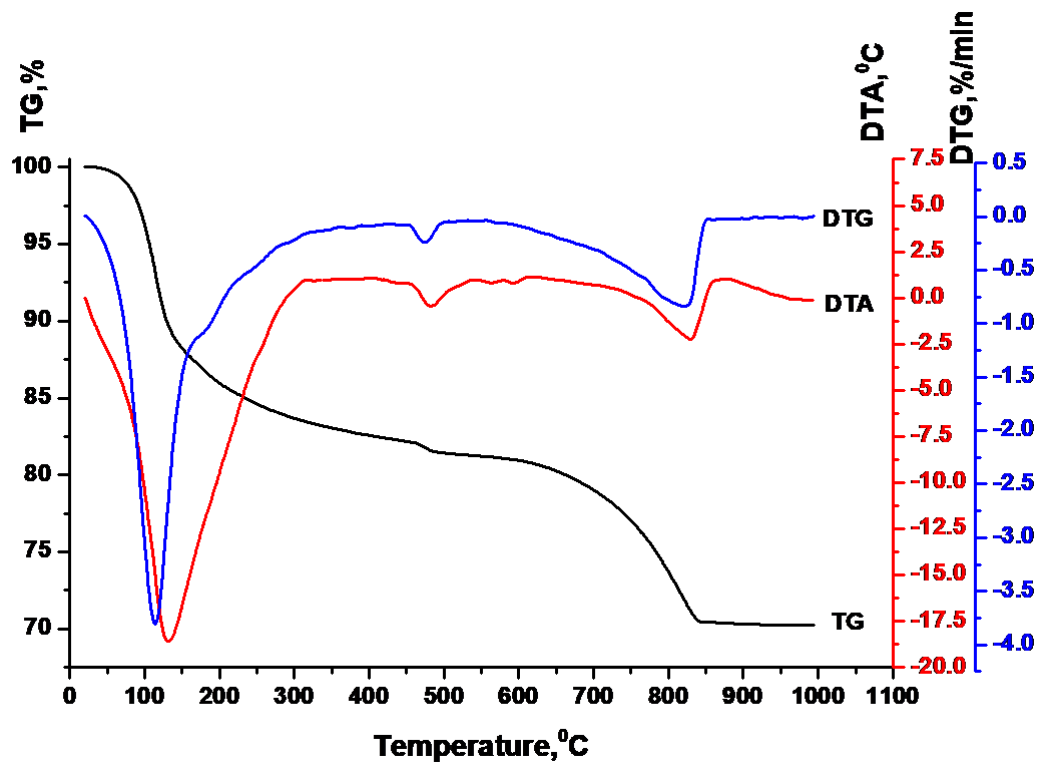


Рис. 4.10. Дериватограма цементу для мурування МС 22,5, гідратованого 28 діб

4.3 Показники якості будівельного розчину на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5

Можливість широкого використання будівельного розчину в технології будівельного виробництва в значній мірі визначається технологічними властивостями розчинової суміші та фізико-технічними властивостями будівельного розчину. Проектування складу будівельного розчину, а саме складу

розчинової суміші, є система технологічних розрахунків для визначення такого співвідношення між компонентами суміші, яке гарантує необхідну міцність і довговічність розчину в кладці і задану легковкладальність суміші з урахуванням технологій її виготовлення, а також необхідну економічність [19].

Запроектовано склади будівельних розчинів марок за міцністю М50 і М100, для яких витрата цементу МС 22,5 складала відповідно 320 і 380 кг на 1 м³ піску. Будівельні розчини з витратою цементу 380 кг на 1 м³ піску (В/Ц = 0,75) характеризуються середньою густиною розчинової суміші 1840 кг/м³ та маркою за рухомістю П8, а для розчинів з витратою цементу 320 кг на 1 м³ (В/Ц = 0,91) середня густина складає 1820 кг/м³ (марка за рухомістю П8) (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Фізико-механічні властивості будівельних розчинів на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5

Витрата на 1 м ³ піску		В/Ц	Середня густина, $\rho_{\text{сер.}}$, кг/м ³	Рухомість, см	РК, мм		Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
МС 22,5	Вода				РК ₁₅	РК ₃₀	3	7	28
380	285	0,75	1840	7,9	160	190	1,9	5,9	10,8
320	291	0,91	1820	7,5	180	205	0,9	2,4	5,4

Консистенція розчинової суміші. Однією з важливих показників розчинової сумішей є легкоукладальність – здатність легко, з мінімальною витратою енергії розстелитись на основу поверхні тонким, рівномірно розподіленим шаром, міцно зчіплюючись з поверхнею основи. Консистенцію розчинової суміші визначали під час її укладання чи нанесення. Дана здатність розчинових сумішей залежить від наявності в них внутрішніх сил, які обумовлюють структурну міцність і перешкоджають механічним зовнішнім впливам, що змінюють форму обсягу розчинових сумішей. Розроблені розчини на основі МС 22,5 відповідають запроектованій марці за рухомістю П8 (табл. 4.7).

Рухомість розчинової суміші на основі мурувального цементу МС 22,5

Показник	Значення	
	М50	М100
Глибина занурення конуса, см	7,5	7,9
Глибина занурення плунжера, мм	35	33

Згідно з методикою, представленою у ДСТУ Б EN 413-2:2015 визначено консистенцію будівельного розчину з використанням плунжерного апарата (рис. 4.11). Консистенція розчинової суміші ($\rho = 380 \text{ кг/м}^3$) змінювалася від 35 до 27 мм протягом 2 год. В той час, як консистенція розчинової суміші ($\rho = 320 \text{ кг/м}^3$) змінювалася від 33 до 25 мм протягом 2 год випробувань.

При необхідності транспортування розчинових сумішей досліджено збереженість властивостей у часі. Розчинові суміші на основі цементу для мурування МС 22,5 зберігають марку за легкоукладальністю П8 протягом 3 год.

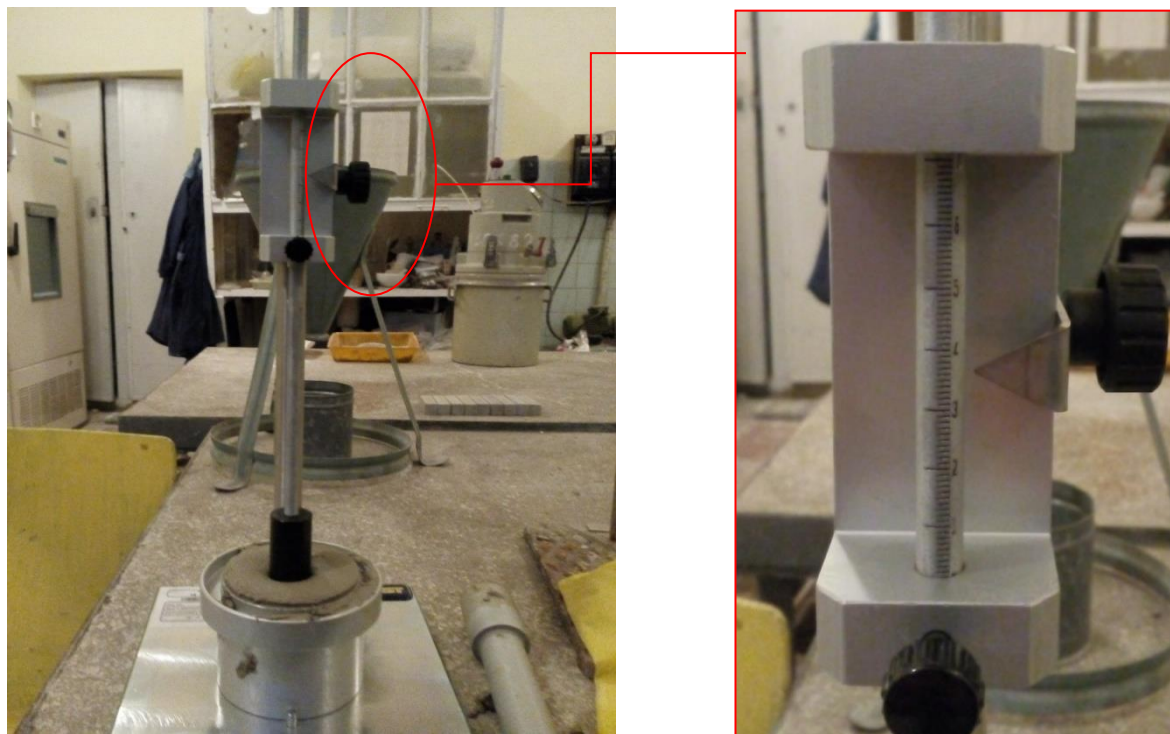


Рис. 4.11. Визначення консистенції модифікованої розчинової суміші

Розшаровуваність розчинової суміші. Важливою характеристикою розчинових сумішей під час мурування є її однорідність та стійкість до

розшаровування. Згідно ДСТУ Б В.2.7-23-95 визначено показник розшаровуваності для сумішей маркою за рухомістю П8, який не повинен перевищувати 10 %. Розчини на основі МС 22,5 марки за міцністю М50 та марки за рухомістю П8 мають розшаровуваність 1,0 %, а марки за міцністю М100 – 0,8 %, що відповідає вимогам діючих стандартів щодо показників розшаровуваності (табл. 4.8).

Водоуримання розчинової суміші. Водоутримувальна здатність характеризується властивістю розчину не розшаровуватися при транспортуванні та зберігати достатню вологість у тонкому шарі на пористій основі. Розчинова суміш, що має низьку водоутримувальну здатність, при транспортуванні розшаровується, а при укладанні на пористу основу швидко віддає йому воду. Ступінь зневоднення розчину може виявитися настільки значним, що води буде недостатньо для гідратації цементу і не буде досягнуто необхідної міцності. Згідно ДСТУ Б EN 413-1:2015 визначено показник водоутримувальної здатності для будівельних розчинів на основі МС 22,5 марки за рухомістю П8 (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Показники однорідності розчину на основі МС 22,5

Показник	Значення	
	М50	М100
Розшаровуваність, %	1,0	0,8
Водоутримувальна здатність, %	97,9	98,6

Показники деформативності. Стінові матеріали та будівельний розчин в кладці знаходяться в умовах складного напруженого стану навіть при рівномірному розподілі навантаження по всьому перерізу стиснутого елемента. Традиційні способи розрахунку складів будівельних розчинів забезпечують задані рухомість розчинової суміші та міцність будівельного розчину, але не забезпечують стабільність деформативних характеристик протягом довготривалої експлуатації. Тому проведено дослідження міцнісних характеристик будівельних розчинів і визначено їх модуль пружності та коефіцієнт Пуассона відповідно до ДСТУ Б В.2.7-217:2009.

В результаті випробувань призм розміром 10x10x40 см модифікованих будівельних розчинів на основі МС 22,5 марок за міцністю М50 та М100 визначено призмову міцність та модуль пружності для кожного зразка при рівні навантаження, яке складало 30 % від руйнівного. Результати випробувань призмової міцності, модуля пружності та коефіцієнта Пуассона модифікованих будівельних розчинів на основі МС 22,5 наведені в табл. 4.9. Дослідження деформативних властивостей розчинів свідчать, що призмова міцність розчину на основі МС 22,5 ($\rho = 380 \text{ кг/м}^3$) становить 9,0 МПа, а для розчину ($\rho = 320 \text{ кг/м}^3$) – 7,75 МПа. Для розчину марки за міцністю М100 модуль пружності становить $15,9 \cdot 10^{-3}$ МПа, а для розчину М50 – $11,9 \cdot 10^{-3}$ МПа.

Таблиця 4.9

Показники деформативності будівельних розчинів

Марка за міцністю	Призмova міцність, $R_{пр}$, МПа	Модуль пружності, $E \cdot 10^{-3}$, МПа	Коефіцієнт Пуассона, ν
М100	9,0	15,9	0,17
М50	7,75	11,9	0,16

Деформації усадки. Процес тверднення будівельних розчинів супроводжується зміною його об'єму. Нерівномірний розподіл вологісних і температурних деформацій за об'ємом супроводжується розвитком напружень. Внутрішні напруження, що виникають між компонентами затверділого розчину в результаті внутрішніх сил, обумовлені атмосферним впливом (поперемінне зволоження, висихання, тривале перебування в умовах підвищених чи понижених температур) та спричиняють деформації усадки. Недостатня водоутримувальна здатність розчину призводить до значної втрати в суміші води «самообезводнення», що також є причиною усадочних деформацій.

Суттєвий вплив на усадку будівельного розчину має водоцементне відношення. Його високі показники призводять до зниження міцності розчину та збільшення пористості, що зумовлює інтенсивніший вологообмін з навколишнім

середовищем. Це призводить до швидкого висихання поверхневих шарів, розвитку великих градієнтів вологості і зростання напружень в матеріалі.

Для вивчення процесів структуроутворення при твердненні будівельних розчинів в повітряно-сухих умовах визначали зміну маси зразків з часом тверднення. Найменшими втратами маси (4,9 %) через 28 діб тверднення характеризується модифікований будівельний розчин на основі МС 22,5. Для складного розчину на основі ПЦ П/А-Ш-400Р-Н та ПЦ П/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н вони збільшуються і досягають 6,5–7,4 %. Результати досліджень свідчать, що для будівельного розчину на основі ПЦ П/А-Ш-400Р-Н та ПЦ П/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н деформації усадки в повітряно-сухих умовах через 28 діб тверднення становлять відповідно 0,58 та 0,43 мм/м, в той час як для модифікованого розчину на основі МС 22,5 вони зменшуються і складають 0,26 мм/м.

Пористість та водопоглинання. Висока пористість в будівельному розчині, зазвичай, викликана наступними факторами: випаровуванням або поглинанням основою надлишку води замішування, повітряними пустотами, нещільним укладанням розчинової суміші, внаслідок утворення коагуляційної структури. Це спричиняє утворення відкритих капілярних пор. У будівельному розчині з добавкою вапна, проявляються відкриті крупні капілярні пори, що зумовлює суттєве капілярне підтягування води в традиційному розчині [48–50].

Зменшення відкритої капілярної пористості модифікованих будівельних розчинів досягається за рахунок прискорення процесів гідратації та омонолічування структури каменю гідратними новоутвореннями. При збільшенні кількості повітровтягувальної добавки показник середнього розміру пор зменшується, що зумовлено зниженням водовмісту системи та утворенням закритих повітряних пор.

Для модифікованого будівельного розчину на основі МС 22,5 М100 загальна пористість складає 30,5 % (відкрита – 14,9 %, закрита – 17,2 %). Разом з тим, водопоглинання такого розчину становить 7,04 мас.%. Зменшення відкритої пористості модифікованих будівельних розчинів досягається оптимізацією

гранулометричного складу піску, використанням декоративного багатокомпонентного цементу та добавок пластифікуюче-повітровтягувальної дії.

Морозостійкість та низькотемпературна дилатометрія. Важливою експлуатаційною характеристикою, що визначає довговічність будівельних розчинів є морозостійкість. З метою визначення морозостійкості проведено дослідження поперемінного заморожування та відтавання зразків-призм 40x40x160 мм будівельних розчинів на основі цементу для мурування МС 22,5, ПЦ II/A-Ш-400P-Н, ПЦ II/Б-К(Ш-В-П)-400P-Н за стандартною методикою згідно з ДСТУ Б В.2.7-239:2010. Після 28 діб тверднення в нормальних умовах зразки піддавались поперемінному заморожуванню і відтаванню. Заморожування зразків здійснювалось у морозильній камері при температурі -15 °С.

Дослідженнями встановлено, що зразки на основі цементу для мурування МС 22,5 не зазнали істотних змін, спричинених багатократними циклами (75 циклів) поперемінного заморожування в стані насичення водою і відтавання у воді, тоді як зразки на основі ПЦ II/A-Ш-400P-Н, ПЦ II/Б-К(Ш-В-П)-400P-Н з добавкою вапняного тіста через 35 циклів зазнали втрати маси понад 5,0 мас.%. Складний будівельний розчин на основі ПЦ II/A-Ш-400P-Н, ПЦ II/Б-К(Ш-В-П)-400P-Н характеризуються маркою за морозостійкістю F35. Водночас для модифікованого будівельного розчину на основі МС 22,5 морозостійкість збільшується і досягає марки F75. Підвищення морозостійкості модифікованого будівельного розчину можна пояснити утворенням в розчині великої кількості дрібних замкнутих повітряних пор, рівномірно розподілених між собою, які служать демпферами напружень.

Методом низькотемпературної дилатометрії досліджено процеси льодоутворення та деформації розширення розчинових сумішей на основі МС 22,5 (Ц:П = 1:3, В/Ц = 0,78) (табл. 4.10). Для розчинової суміші процеси льодоутворення починаються при температурі -6 °С, при цьому деформації розширення не спостерігаються і при подальшому охолодженні до -14 °С не змінюються.

Таблиця 4.10

Вплив протиморозної добавки на тверднення розчинів при від'ємних температурах методом низькотемпературної дилатометрії

Кількість добавки	В/Ц	РК, мм	Консистенція, см	Температура льодоутворення, °С	Деформації розширення, %
-	0,78	225	3,5	-6	0
1,5% ФК	0,78	210	2,5	-6	0,82

Для розчинової суміші з використанням комплексної добавки з протиморозним ефектом, температура початку замерзання рідкої фази знижується до -6 °С і деформації розширення складають 0,12 %, а при подальшому охолодженні до -15 °С досягають 0,82 %.

Висолоутворення та атмосферостійкість. Природа висолоутворень і причини їх виникнення на поверхні будівельних розчинів вивчалась різними дослідниками. Встановлено, що висоли виникають внаслідок утворення на поверхні білої плівки кальцію карбонату. Також причиною висолів можуть бути кристали гідроксиду кальцію, що мігрують на поверхню зразка і мають тимчасовий характер. Як показали дослідження, на поверхні зразків на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5 висолів не спостерігається, що можна пояснити низьким клінкер-фактором цементу (40 %) та введенням високодисперсного цеоліту, тонка фракція якого інтенсивно зв'язує кальцію гідроксид.

Випробування атмосферостійкості будівельних розчинів проводили прискореною методикою поперемінного зволоження і висушування. Встановлено, що після 100 циклів випробувань поперемінного зволоження та висушування будівельного розчину на основі МС 22,5 міцність на стиск знизилась на 5,3 %.

Встановлено, що для розчинових сумішей на основі МС 22,5 отримуються високофункціональні будівельні розчини проектної марки за міцністю на стиск М100, які характеризуються підвищеною морозостійкістю (F75) та атмосферостійкістю. Висока функціональність даних складів визначається також терміном придатності розчинової суміші в необхідних межах при забезпеченні

повної відповідності експлуатаційних показників нормативним вимогам для будівельних мурувальних розчинів. Крім цього, такі будівельні розчини характеризуються пониженим висолоутворенням. Показники якості будівельного розчину наведені в табл. 4.11.

Таблиця 4.11

**Показники якості модифікованого будівельного розчину на основі цементу
для мурування МС 22,5**

Назва показника	Одиниці вимірювання	Значення показника
Розчинова суміш		
Рухомість	см	7,9
Термін придатності, Ж	хв	300
Вміст повітря, А	%	13
Консистенція	см	3,5
Середня густина ρ_c	кг/м ³	1840
Розшаровуваність, П	%	0,8
Водоутримувальна здатність, V	%	98,6
Розчин		
Міцність на стиск розчину, R_c	МПа	10,8
Коефіцієнт розм'якшення, K_r	-	0,96
Модуль пружності, E_{cm}	ГПа	15,9
Призмova міцність, $R_{пр}$	МПа	9,0
Коефіцієнт Пуассона, ν	-	0,17
Пористість розчину, П	%	30,5
Усадка, ϵ_y	мм/м	0,26
Морозостійкість, F	цикли	75
Висолоутворення	-	немає

Для підвищення експлуатаційних властивостей модифікованих будівельних розчинів ($\rho = 465 \text{ кг/м}^3$) при понижено-додатних та від'ємних температурах проведено оптимізацію складу. З метою забезпечення найбільш оптимального складу в заданому інтервалі зміни кількісного співвідношення компонентів комплексного модифікатора пластифікуюче-повітровтягуючої добавки ПВ X_1 (0,04–0,12 мас. %) та добавки з протиморозним ефектом ФК X_2 (0–3,0 мас. %) використано метод ортогонального центрально-композиційного планування. Основні характеристики факторів, що змінюються, наведені в табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Характеристика планування експерименту

Характеристика	Параметри планування	
	ПВ, мас. % (X_1)	ФК, мас. % (X_2)
Головний рівень "0"	0,08	1,50
Нижній рівень "-1"	0,04	0
Верхній рівень "+1"	0,12	3,00

При плануванні експерименту були вибрані наступні параметри:

Y_1 – середня густина розчинової суміші, кг/м^3 ;

Y_2 – водоцементне відношення розчинової суміші;

Y_3 – міцність розчину через 7 діб тверднення у нормальних умовах, МПа;

Y_4 – міцність розчину через 28 діб тверднення у нормальних умовах, МПа;

Y_5 – міцність розчину через 7 діб тверднення в умовах понижених додатних температур (+5 °С), МПа;

Y_6 – міцність розчину через 28 діб тверднення в умовах понижених додатних температур (+5 °С), МПа;

Y_7 – міцність розчину через 7 діб тверднення в умовах від'ємних температур (-17°С), МПа;

Y_8 – міцність розчину через 28 діб тверднення в умовах від'ємних температур (-17 °С), МПа.

Матриця планування і результати повного двофакторного експерименту показані в табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Матриця планування і результати повного двофакторного експерименту

Матриця планування		В/Ц	Середня густина, кг/м ³	Границя міцності при стиску, МПа, у віці, діб					
				Нормальні умови		+5 °С		-17°С	
X ₁	X ₂			7	28	7	28	7	28
-1	-1	0,72	1960	14,1	18,0	8,3	9,3	0,4	5,2
0	-1	0,71	1920	11,6	17,5	7,7	9,9	0,7	5,4
+1	-1	0,65	1855	8,7	17,0	6,0	9,4	0,7	4,9
-1	0	0,71	1975	15,4	19,3	8,4	9,9	1,8	7,0
0	0	0,67	1930	15,4	18,7	12,3	15,3	2,9	6,4
+1	0	0,63	1860	13,5	18,3	9,0	10,9	1,4	5,7
-1	+1	0,69	1985	18,0	21,0	8,3	10,4	2,3	7,4
0	+1	0,67	1940	10,6	19,8	8,2	13,1	2,9	6,8
+1	+1	0,62	1870	9,7	18,8	9,5	13,5	4,3	6,2

Розрахунок коефіцієнтів регресії виконаний за допомогою програми EXCEL. У програмі було проведено матричний підхід знаходження коефіцієнтів регресії. Отримані результати розрахунку коефіцієнтів регресії наведені в табл. 4.14. На основі одержаних коефіцієнтів регресії складені рівняння досліджуваних функцій міцності на стиск будівельних розчинів та середньої густини розчинових сумішей.

Проведений аналіз коефіцієнтів рівняння регресії дає змогу провести ряд технологічних висновків. Введення добавки ПВ (коефіцієнт b_1) впливає на зниження середньої густини розчинової суміші та водоцементне відношення, проте понижує міцність на стиск при нормальних умовах тверднення. Введення добавки ФК (коефіцієнт b_2) дозволяє підвищити середню густину розчинової суміші, але понизити В/Ц. Добавка має позитивний вплив на міцність на стиск в усіх випадках.

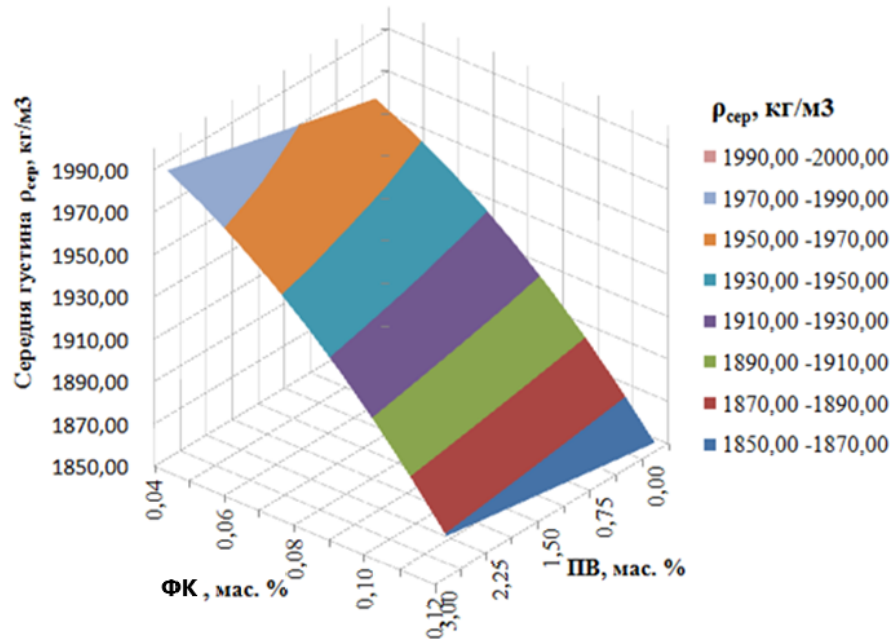
Таблиця 4.14

Коефіцієнти рівняння регресії

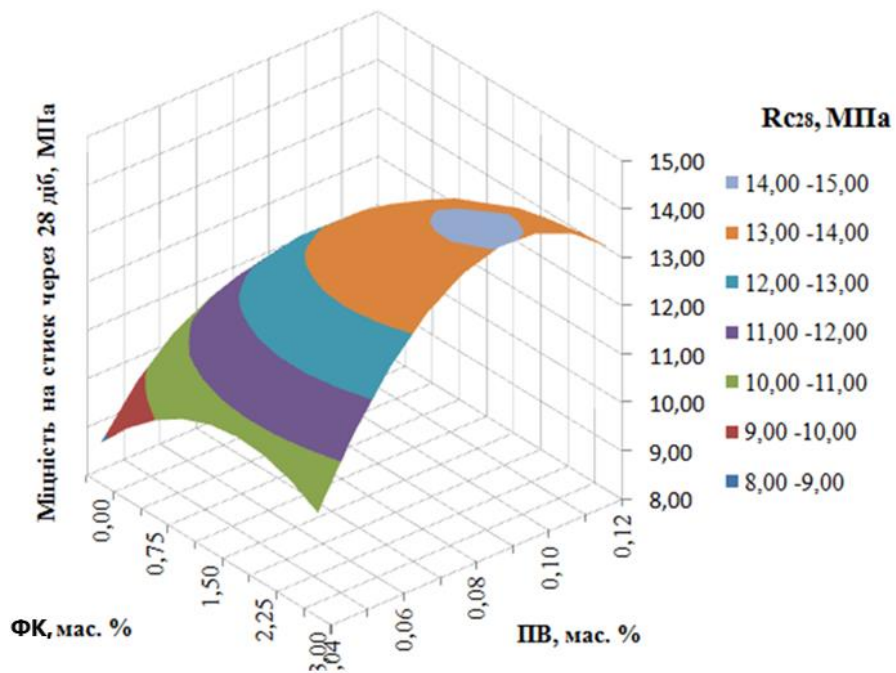
Функції відгуку	Коефіцієнти регресії					
	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
Y_1	1930,00	-55,83	10,00	-2,50	-12,50	0,00
Y_2	0,679	-0,037	-0,017	0,000	-0,013	0,007
Нормальні умови						
Y_3	14,30	-2,600	0,650	0,725	-0,700	-2,650
Y_4	18,722	-0,700	1,183	0,300	-0,067	-0,083
+5°C						
Y_5	10,667	-0,083	0,667	0,875	-1,150	-1,900
Y_6	13,500	0,700	1,400	0,750	-2,200	-1,100
-17°C						
Y_7	2,267	0,317	1,283	0,425	-0,350	-0,150
Y_8	6,456	-0,467	0,817	0,225	-0,133	-0,383

Максимальна кількість добавки ПВ (коефіцієнт b_{11}) дозволяє покращити параметри середньої густини розчинової суміші та водоцементне відношення, при цьому знизити міцність на стиск у різних умовах тверднення розчину. Максимальна кількість добавки ФК (коефіцієнт b_{22}) дає негативну дію на усі параметри розчинової суміші та будівельного розчину. Спільне введення добавок ПВ та ФК у вигляді КХД позитивно впливають на параметри середньої густини розчинової суміші та міцність на стиск будівельного розчину, не змінюючи В/Ц.

На рис. 4.12, а, зображено ізопараметрична діаграма зміни середньої густини будівельного розчину, а на рис. 4.12, б – ізопараметрична діаграма зміни границі міцності на стиск через 28 діб тверднення.



а



б

Рис. 4.12. Ізопараметричні діаграми зміни: а – середньої густини будівельного розчину; б – границі міцності на стиск будівельного розчину

Аналіз отриманих математичних залежностей, а також графічна їх інтерпретація дають можливість визначити оптимальний склад мурувального розчину. Отже, оптимальним складом комплексної добавки для досягнення марки за міцністю на стиск М100 через 28 діб $\rho_{ср.}=1870 \text{ кг/м}^3$ є 0,06 мас.%

повітровтягувальної добавки (ПВ) та 1,5 мас.% добавки з протиморозним ефектом (ФК).

4.4 Показники якості будівельних розчинів на основі модифікованих сумішей для мурування

Для виготовлення сухих будівельних сумішей, як в'яжуче використано модифікований цемент для мурування МС 22,5 заводського виробництва. Згідно ДСТУ Б В.2.7-126:2011 для будівельного розчину на основі модифікованої сухої будівельної МР1, проектна міцність на стиск складає 11,4 МПа, що відповідає марці за міцністю М100. При В/Ц = 0,61 розчинова суміш характеризується маркою за рухомістю П8 (глибина занурення еталонного конуса 8,0 см), середньою густиною суміші $\rho_c = 1818 \text{ кг/м}^3$. Термін придатності суміші становить 3 год, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-23-95. Кінетику зміни рухомості розчинової суміші для мурування наведено на рис 4.13.

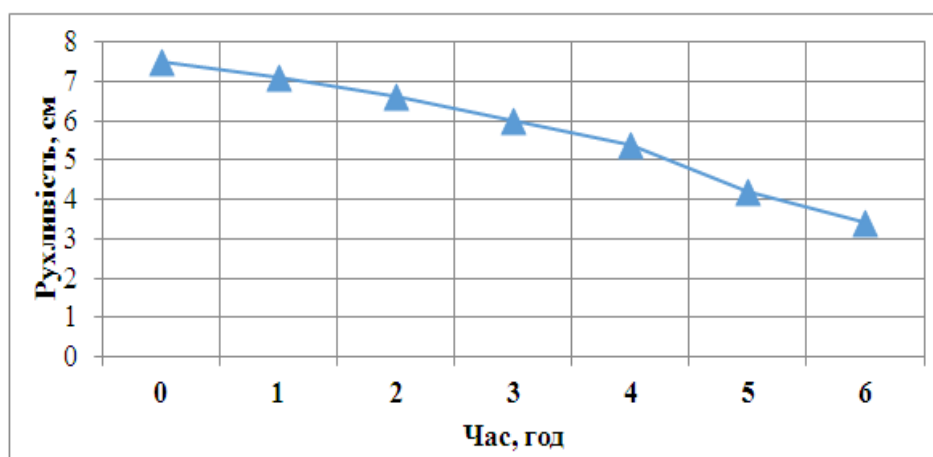
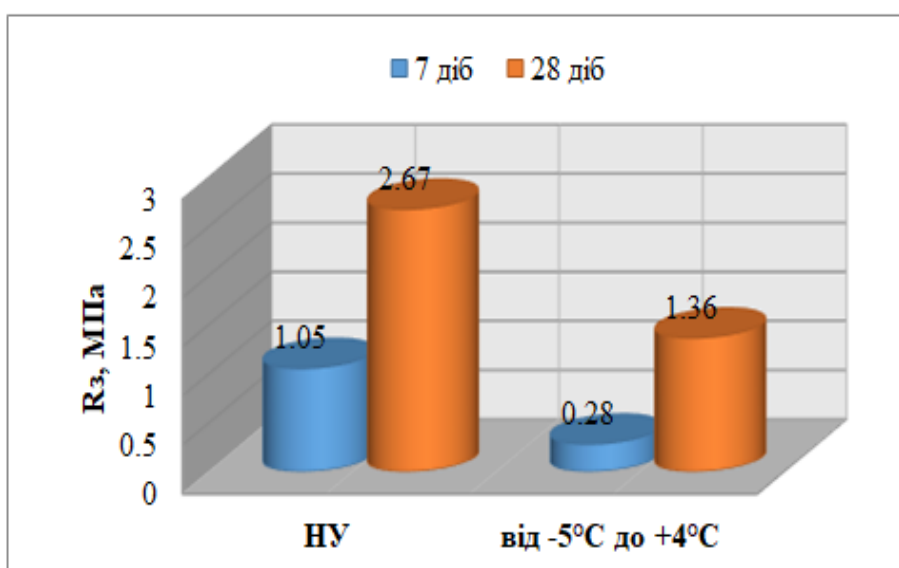


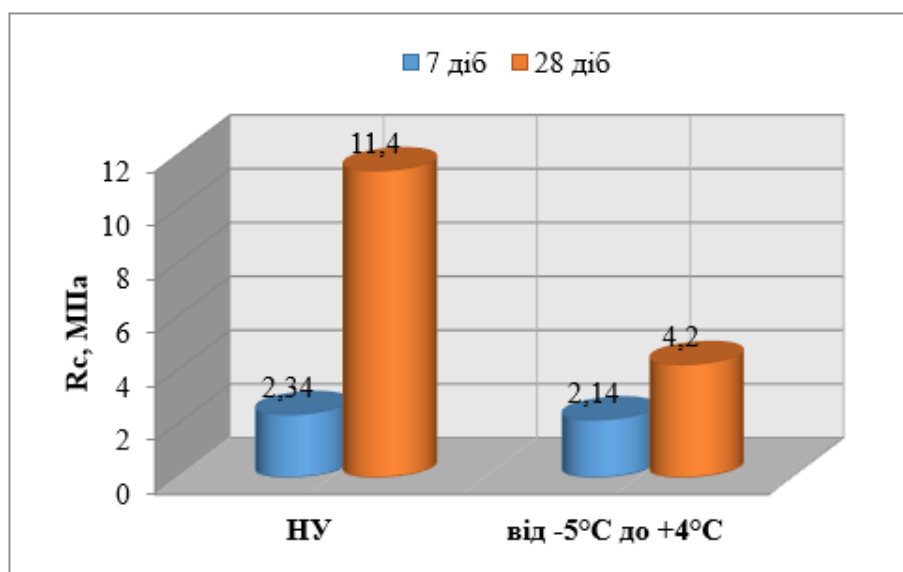
Рис. 4.13. Термін придатності розчинової суміші

Розшаровуваність та водоутримувальну здатність визначено за ДСТУ Б 8.2.7-239:2010 і після опрацювання результатів, розшаровуваність складає 0,8 %, а водоутримувальна здатність – 98,02 %.

Випробування модифікованої будівельної суміші на основі МС 22,5 на стиск та згин проводилось при твердненні зразків в умовах понижених додатних та від'ємних температур (від -5°C до $+11^{\circ}\text{C}$). Границя міцності на згин через 28 діб тверднення в нормальних умовах складає 2,67 МПа, а при від'ємних температурах 1,36 МПа (рис. 4.14, а), границя міцності на стиск в нормальних умовах складає 11,4 МПа, а при від'ємних температурах досягає 4,2 МПа (рис. 4.14, б). Варто зазначити, що після тверднення досліджуваних зразків додатково ще 28 діб в нормальних умовах міцність збільшилась – $R_z = 3,8$ МПа, $R_c = 11,6$ МПа.



а



б

Рис. 4.14. Показники міцності на згин (а) та на стиск (б) будівельного розчину на основі МР1

Досліджено водопоглинання за масою та об'ємом будівельного розчину на основі суміші, який набирає міцність при температурі від -5 до $+4$ °С. Дослідженнями водопоглинання згідно ДСТУ Б В.2.7-239:2010 встановлено, що через 48 год насичення водою зразків на основі МР1 (тверднули при температурі від -5 до $+4$ °С) водопоглинання за масою становить 8,58 %, а в нормальних умовах – 7,04 %, тоді, як водопоглинання за об'ємом становить відповідно 14,45 % і 12,42 % (рис. 4.15). Як видно з рис. 4.16, водопоглинання при капілярному підтягуванні для досліджуваних зразків складає відповідно 1,07 і 1,98 $\text{кг}/\text{м}^2\cdot\text{год}^{0,5}$.

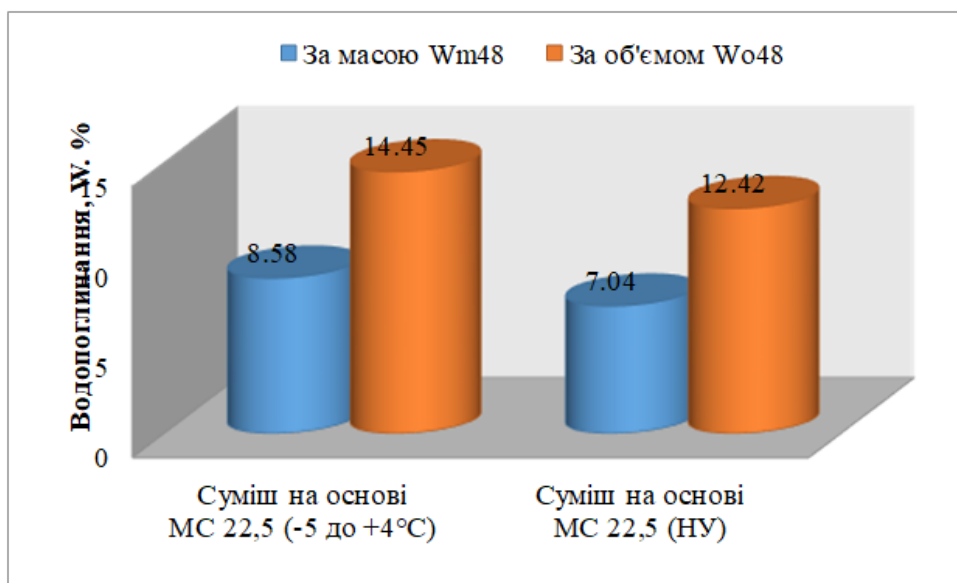


Рис. 4.15. Водопоглинання будівельного розчину на основі суміші в різних температурних умовах

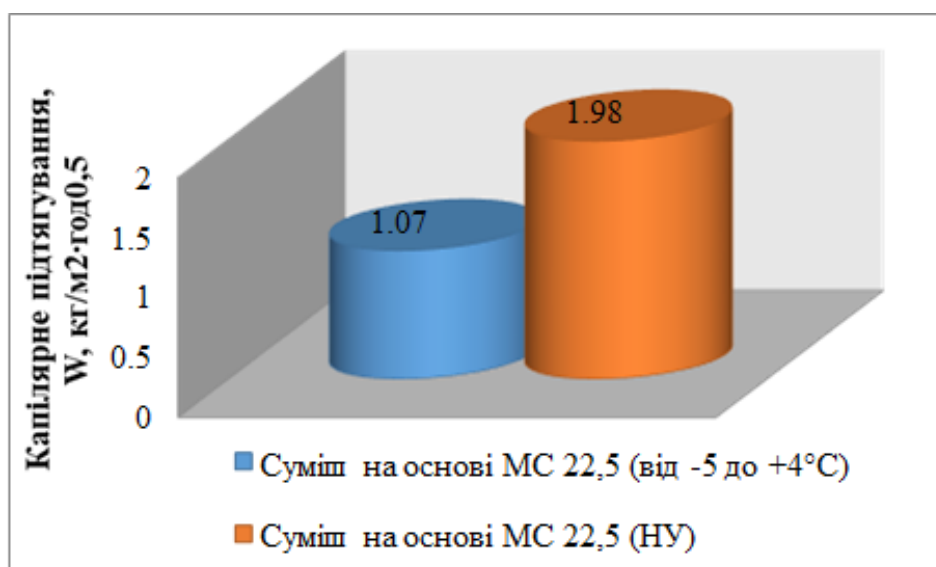


Рис. 4.16. Водопоглинання при капілярному підтягуванні будівельного розчину на основі суміші в різних температурних умовах

Результатами випробувань призмової міцності, модуля пружності та коефіцієнта Пуассона згідно ДСТУ Б В.2.7-217:2009 встановлено, що модифікований будівельний розчин на основі МР1 характеризується призмовою міцністю 8,2 МПа, модулем пружності – $13,05 \cdot 10^{-3}$ МПа та коефіцієнтом Пуассона 0,17 (табл. 4.15). Визначення призмової міцності та модуля пружності модифікованого будівельного розчину на основі МС 22,5 представлено на рис. 4.17.

Таблиця 4.15

Показники деформативності модифікованого будівельного розчину на основі сухої суміші МР1

Модифікований будівельний розчин	Призмova міцність, $R_{пр}$, МПа	Модуль пружності, $E \cdot 10^{-3}$, МПа	Коефіцієнт Пуассона, ν
МР 1	8,2	13,05	0,17



а



б

Рис. 4.17. Визначення призмової міцності (б) та модуля пружності (а) модифікованого будівельного розчину на основі МС 22,5

Порівняльними дослідженнями кінетики зміни деформацій показано (рис. 4.18), що для будівельного розчину на основі ПЦ П/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н деформації усадки складають 0,43 мм/м, тоді, як для розчину на основі МР1 зменшуються в 1,4 рази. Загальна пористість розчину на основі МР1 складає 32,09 % (відкрита – 13,42 %, закрита – 18,67 %) (рис. 4.19).

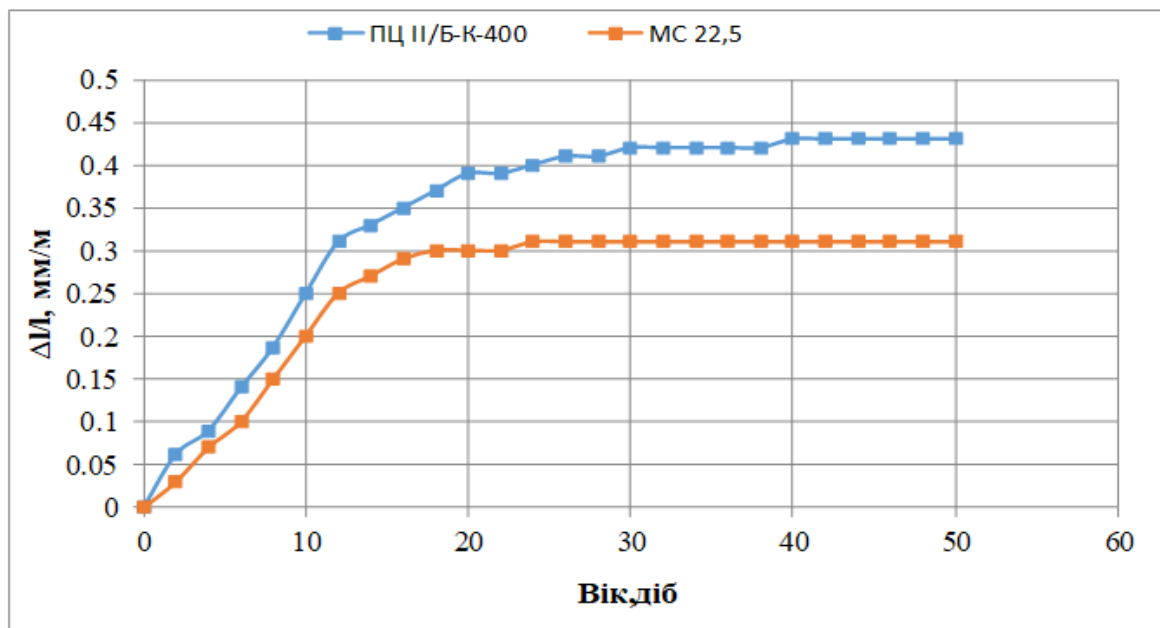


Рис. 4.18. Деформації усадки будівельного розчину

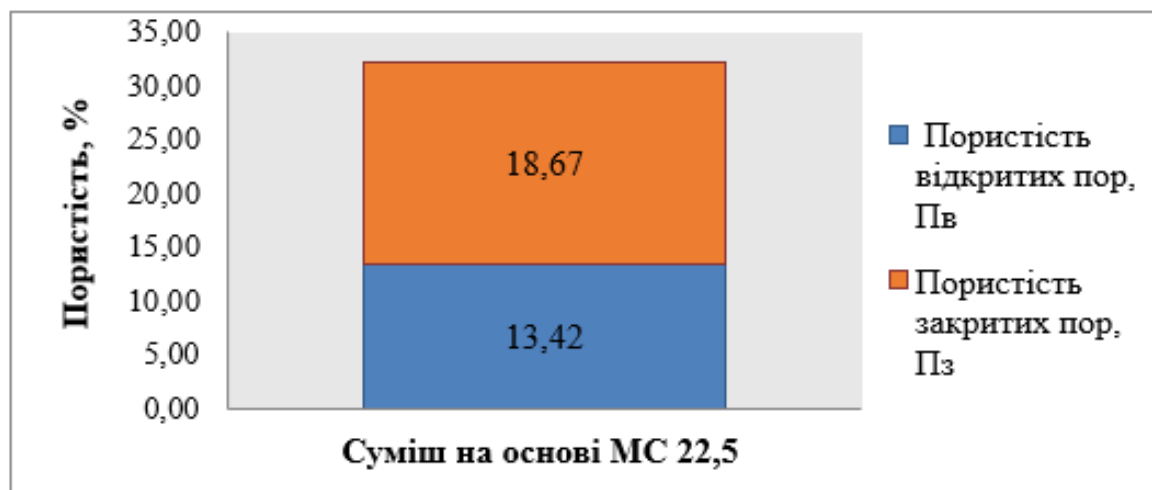


Рис. 4.19. Пористість будівельного розчину на основі суміші

Будівельний розчин на основі МР1 характеризується покращеною легковкладальністю (марка за рухомістю П8), однорідністю, водопоглинанням за масою 7,04 %, пониженими деформаціями усадки (0,31 мм/м) без висолоутворення. Показники якості будівельного розчину на основі МР1 наведені в табл. 4.16.

Таблиця 4.16

Показники якості модифікованого будівельного розчину МР1

Найменування показника		Одиниці вимірювання	Значення показника
Водоцементне відношення		-	0,61
Насипна густина суміші на основі МС 22,5, ρ_n		кг/м ³	1360
Рухомість розчинової суміші		см	8,0
Термін придатності розчинової суміші, Ж		год	3,0
Термін тужавіння	Початок	год	9,5
	Кінець	год	18
Вміст повітря у розчинової суміші в ущільненому стані		%	13
Консистенція		см	2,9
Розплив конуса		мм	238
Розшаровуваність,		%	0,8
Водоутримувальна здатність, V		%	98,02
Міцність на стиск розчину, R_c		МПа	11,4
Коефіцієнт розм'якшення, K_f		-	0,96
Модуль пружності, $E \cdot 10^{-3}$		МПа	13,05
Призмova міцність, $R_{пр}$		МПа	8,2
Коефіцієнт Пуассона, ν		-	0,17
Середня густина розчинової суміші ρ_c		кг/м ³	1818
Пористість розчину, П		%	32,09
Висолоутворення		-	немає
Водопоглинання за масою, W_m		%	7,04
Водопоглинання за об'ємом, W_o		%	12,42

Таким чином, використання модифікованого цементу МС 22,5 в складі сухої суміші для мурування МР1 забезпечує одержання легковкладальних розчинових сумішей, які характеризуються подовженим терміном придатності при

запоектованій марці за міцністю для мурування огорожувальних конструкцій без висолоутворення.

4.5 Випробування цегляної кладки з використанням модифікованого будівельного розчину

Характер руйнування кладки і ступінь впливу численних факторів на її 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. Міцність при стиску кладки перпендикулярно до горизонтальних швів визначали за міцністю невеликих зразків кам'яної кладки, що навантажуються до руйнування. Для зведення зразків цегляної кладки використовували керамічну лицьову цеглу КЛПр-1НФ марки М150 та будівельний розчин різного складу, основні характеристики якого наведені в табл. 4.17.

Таблиця 4.17

Фізико-механічні властивості будівельного розчину для цегляної кладки

Склад	В/Ц	Середня густина, $\rho_{\text{сер.}}, \text{кг/м}^3$	Рухомість, см	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа
МС 22,5	0,80	1840	7,9	10,8
ПЦ П/Б-К-400Р-Н вапняне тісто	0,95	1970	7,7	14,9

Зразки кладки для випробування піддавались рівномірному стиску. Для випробування виготовляли зразки кладки, розміри яких наведені в табл. 4.18.

Розміри зразків для випробування міцності кам'яної кладки при стиску

Розміри елементів кладки		Розміри зразка для випробування цегляної кладки			
$l_u=250\text{мм}$	$h_u=65\text{мм}$	$l_s=515\text{мм}$	$h_s=545\text{мм}$		$t_s=120\text{мм}$
≤ 300	≤ 150	$\geq (2 l_u)$	$\geq 5 h_u$	$\geq 3 t_s$ і $\leq 15 t_s$	$i \geq l_s$ $\geq t_u$

Для визначення модуля пружності зразки цегляної кладки оснащували вимірювальними пристроями для вимірювання зміни висоти. Силу стиску прикладали не менше ніж у три етапи до досягнення половини можливого максимального значення. Після закінчення останнього етапу силу стиску збільшували на постійну величину до руйнування (рис. 4.20).



Рис. 4.20. Зруйнований зразок цегляної кладки після випробування

Результатами досліджень встановлено, що границя міцності при стиску зразка цегляної кладки з використанням модифікованого будівельного розчину на основі МС 22,5 складає 8,5 МПа, а з використанням ПЦ П/Б-К-400Р-Н – 8,65 МПа.

Модуль пружності зразка кладки визначали як сичний модуль від середнього значення деформації в чотирьох точках виміру при навантаженні, що дорівнює одній третій максимально можливого значення. Результатами досліджень

встановлено, що модуль пружності для цегляної кладки з використанням МС 22,5 становить $29,8 \cdot 10^{-3}$ МПа, а ПЦ II/Б-К-400Р-Н – $33,2 \cdot 10^{-3}$ МПа.

Згідно методики ДСТУ Б.В.2.6-174:2011 проведено визначення міцності зчеплення кладки з використанням керамічної лицьової цегли та будівельного розчину на основі цементу для мурування МС 22,5 та ПЦ II/Б-К-400Р-Н.

Як зазначено у табл. 4.19, міцність зчеплення модифікованого розчину в цегляній кладці (площа відриву 240 см^2 , величина відриваючого навантаження 1500 Н) становить 0,73 МПа. В той час, як міцність зчеплення складного будівельного розчину в цегляній кладці (площа відриву 240 см^2 , величина відриваючого навантаження 900 Н) складає 0,3 МПа.

Таблиця 4.19

Випробування зразків на зчеплення в нормальних умовах

Склад розчину	Міцність розчинових кубів на стиск, МПа	Величина відриваючого навантаження для зразка, Н (кгс)	Площа відриву, см^2	Міцність зчеплення, МПа	Характеристика площі відриву, %	
					По розчину	По цеглі
МС 22,5	10,8	1500	240	0,73	60	40
ПЦ II/Б-К-400 20% вапняне тісто	14,9	900	240	0,3	95	5

Як видно з рис. 4.21, а, зразки цегляної кладки з використанням розчину на основі МС 22,5 характеризуються оптимальною площею відриву. Зразок кладки з використанням розчину на основі ПЦ II/Б-К-400Р-Н характеризується 95 % площею відриву по розчину з розколенням цегли (рис. 4.21, б).

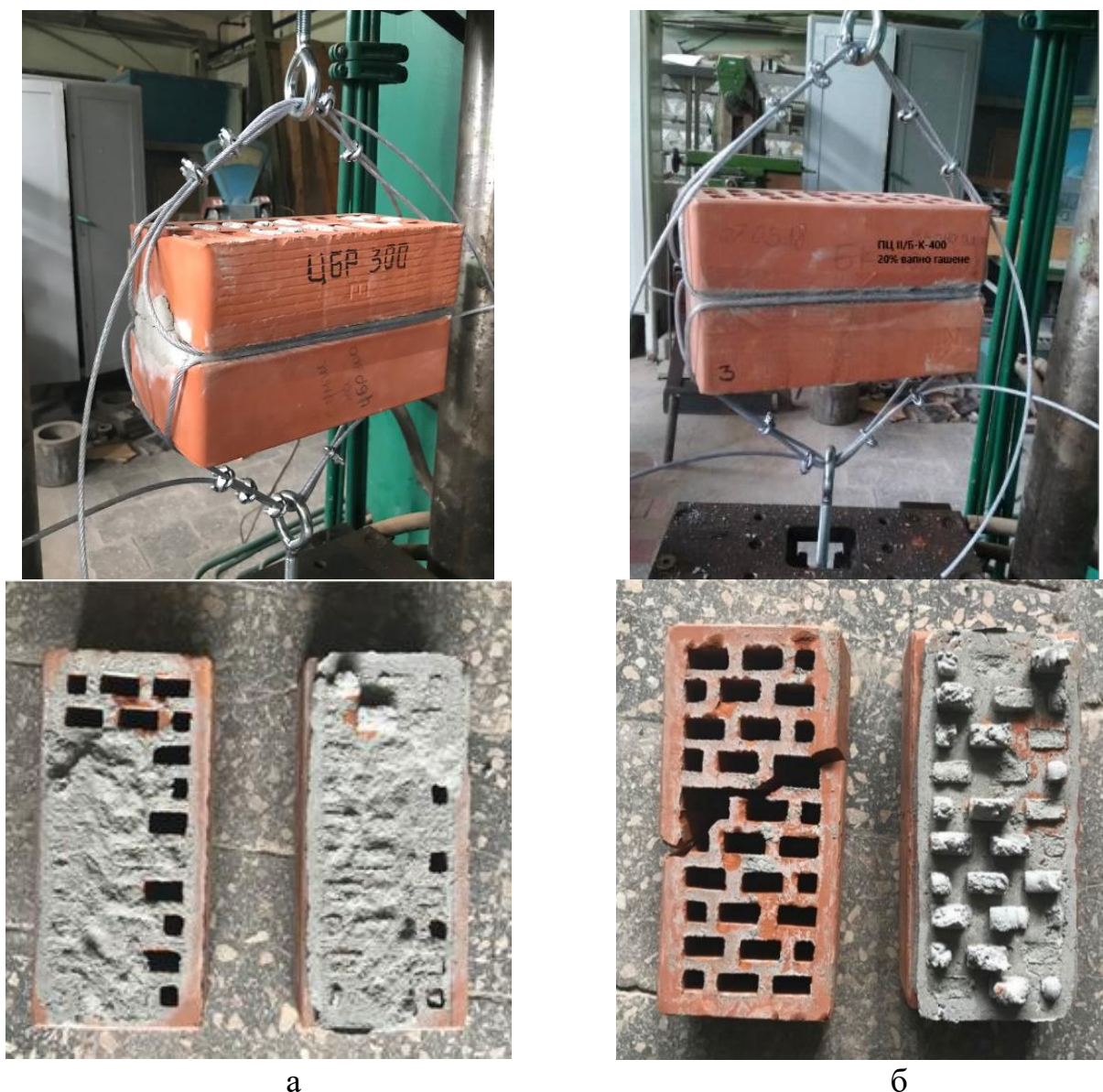


Рис. 4.21. Випробовування зразків цегляної кладки на зчеплення: а – кладка на розчині МС 22,5; б – кладка на розчині ПЦ II/Б-К-400Р-Н, 20 % вапняне тісто

Візуальними спостереженнями встановлено, що на поверхні зразка кладки з використанням складного будівельного розчину проявляються висоли у вигляді білих плям (рис. 4.22, а). Водночас, для зразка кладки з використанням будівельного розчину на основі модифікованого багатокomпонентного цементу для мурування МС 22,5 висолоутворення не спостерігається (рис. 4.22, б).



а



б

Рис. 4.22. Зразки цегляної кладки: а – з використанням складного будівельного розчину; б – з використанням будівельного розчину на основі МС 22,5

Отже, наномодифікування поверхні керамічної лицьової цегли та використання ефективного будівельного розчину на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5 забезпечує підвищення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель і споруд.

Висновки до розділу

1. 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 П/А-Ш-400Р-Н і ПЦ П/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. Хімічний склад висолів з будівельного розчину

цегляної кладки характеризується підвищеним вмістом CaO (29,9 мас.%). При цьому кількість SO₃ складає 7,52 мас.%, Na₂O – 3,6 мас.%, K₂O – 2,5 мас.%.

2. Для попередження утворення висолів на поверхні кладки зовнішніх стін в будівельних розчинах застосовували спеціальний модифікований цемент для мурування МС 22,5 EN 413-1 з низьким вмістом клінкеру (40 мас.%). На дифрактограмі цементу МС 22,5 (В/Ц = 0,34), гідратованого 28 діб, фіксуються лінії кальциту ($d/n = 0,303; 0,249$ нм) і кристалічних гідратних фаз: кальцію гідроксиду ($d/n = 0,490; 0,263; 0,192$ нм), еtringіту ($d/n = 0,973; 0,388$ нм), а також кальцію гідроалюмінату C₄AH₁₃ ($d/n = 0,81$ нм). Встановлено зменшення ліній кальциту CaCO₃ і спостерігається наявність ліній гідрокарбоалюмінату C₃A·CaCO₃·12H₂O ($d/n = 0,76; 0,380$ нм). Щільну структуру гідратованої твердої фази забезпечують AF_m- і AF_t-фази в масі гелеподібної фази С-S-H. Тонкодисперсна фракція вапняку в процесі гідратації клінкерної складової стабілізує продукти гідратації трикальцієвого алюмінату з утворенням гексагональних гідрокарбоалюмінатів C₄A·CO₂·12H₂O.

3. Експериментальними дослідженнями встановлено, що при введенні добавки пластифікуюче-повітровтягувальної дії до складу розчинів (витрата МС 22,5 – 380 кг/м³, марка за рухомістю П8) водопотреба зменшується на 10–15 %, середня густина – 1840 кг/м³. Встановлено, що для розчинових сумішей на основі МС 22,5 отримуються високофункціональні будівельні розчини проектної марки за міцністю на стиск М100, які характеризуються підвищеною морозостійкістю (F75) та атмосферостійкістю (міцність на стиск будівельного розчину після 100 циклів поперемінного зволоження та висушування знизилась на 5,3 %). Модуль пружності такого розчину складає 15,9 ГПа, а коефіцієнт Пуассона – 0,17, що сприяє зниженню можливості утворення тріщин та підвищує якість кладки.

4. Досліджено будівельний розчин на основі модифікованої сухої будівельної суміші МР1 марки за міцністю М100 (маркою за рухомістю П8), середньою густиною суміші $\rho_c = 1818$ кг/м³, яка характеризується однорідністю, водопоглинанням за масою 7,04 %, пониженими деформаціями усадки (0,31 мм/м),

подовженим терміном придатності при запроектованій марці за міцністю М100 без висолоутворення.

5. Проведено випробування цегляної кладки з використанням модифікованого будівельного розчину та керамічної цегли. Границя міцності при стиску зразка цегляної кладки з використанням модифікованого будівельного розчину складає 8,5 МПа, а з використанням ПЦ П/Б-К-400Р-Н – 8,65 МПа. Результатами досліджень встановлено, що модуль пружності для цегляної кладки з використанням МС 22,5 становить $29,8 \cdot 10^{-3}$ МПа, а ПЦ П/Б-К-400Р-Н – $33,12 \cdot 10^{-3}$ МПа. Найвищою міцністю при зчепленні (0,73 МПа) характеризується зразок кладки з використанням будівельного розчину на основі цементу МС 22,5. В той час, як міцність при зчепленні зразка кладки з використанням розчину на основі ПЦ П/Б-К-400 складає 0,3 МПа. Модифікована поверхня цегляної кладки нано-рідиною забезпечує висолостійкість конструкцій.

Результати експериментальних досліджень даного розділу наведено в таких публікаціях:

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

3. 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. – ISSN 2311-7257, International Innovative Journal Impact Factor, Metadata from Crossref. DOI: 10.29295/2311-7257-2018-91-1-146-151.

4. Impact of modifiers on the properties of brick masonry construction / T. Kropyvnytska, R. Semeniv, M. Chekaylo, A. Kaminsky // The international journal Sustainable development. – 2018. – Vol. 2. – P. 77–82. – ISSN 2367-5454.

5. 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 (DOI: 10.1051/mateconf/201711601007).

6. Семенів Р. М. Міцність і руйнування цегляної кладки на основі модифікованих багатокomпонентних цементних розчинів / Р. М. Семенів, Т. П. Кропивницька, І. І. Кіракевич // Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій». Одеса, 2018. – С.124–126.

7. 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.

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

РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ ЗАХИСНИХ НАНОПОКРИТТІВ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ЦЕМЕНТІВ

5.1 Використання нанопокриття для захисту поверхні цегляної конструкції

Довговічність керамічних цегляних конструкцій залежить від їх складу та стабільності фізико-хімічних властивостей залежно від рівня впливу факторів навколишнього середовища. У процесі експлуатації цегляних споруд при змінах температури та вологості виникають дефекти, що суттєво погіршують архітектурну виразність і негативно впливають на фізико-технічні властивості мурованих фасадів.

На підприємстві ПП “Терміт” виготовлено атмосферостійке захисне нанопокриття в кількості 112 л, яке представляє колоїдний розчин, що містить чистий поліметилфенілсилоксановий лак, оксид алюмінію та нанопорошок на основі активного Al_2O_3 . Технічні характеристики захисного нанопокриття наведені у табл. 5.1.

Покриття на очищену, суху поверхню керамічної цегляної конструкції наносили в 1 шар з допомогою пульверизатора. Захисне нанопокриття ущільнює структуру за рахунок кольматування пор і мікротріщин, що забезпечує зниження капілярного підтягування кладки (додаток А). Також це призводить до підвищення атмосферостійкості та морозостійкості цегляних будівельних конструкцій. Нанопокриття було використано для захисту поверхні цегляних огорожувальних конструкцій по вул. Похила у м. Львові та по вул. Рудницького 2, смт. Конопниця,

Львівської обл. Результати випробувань захисного нанопокриття представлені на рис. 5.1.

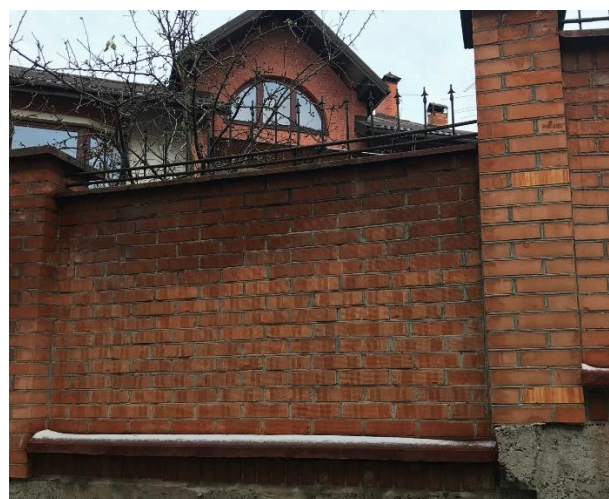
Таблиця 5.1

Технічна характеристика захисного нанопокриття

№ з/п	Характеристика	Значення
1	Зовнішній вигляд	Рідина прозора
2	Густина, кг/м ³	1,18
3	рН середовище	8
4	Час просочування, хв	60
5	Класифікація шкідливості відповідно до ЕС 1999/45	безпечний
6	Температура застосування	від +5°C до +30°C



а



б

Рис. 5.1. Натурна апробація захисного нанопокриття: а – до нанесення; б – після нанесення

При захисті поверхні захисним нанопокриттям забезпечується збільшення водонепроникності, атмосферостійкості, морозостійкості та висолостійкості, що призводить до підвищення довговічності цегляних конструкцій, які працюють в умовах підвищеної вологості та знакозмінних температур.

5.2 Промисловий випуск цементу для будівельних розчинів МС 22,5

Цемент для мурування виготовляється з використанням сучасної технології помелу в замкнутому циклі, що сприяє оптимізації його гранулометричного складу. При цьому підвищується кількість дрібнодисперсних частинок цементу, необхідних для збільшення швидкості набору міцності цементного каменю. Технологічна схема та напрямки одержання модифікованих цементів та модифікованих будівельних розчинів представлені на рис. 5.2. З метою зниження собівартості цементу завдяки зменшенню вмісту його клінкерної складової із забезпеченням необхідних будівельно-технічних властивостей проведено випуск модифікованих низькоемісійних багатокомпонентних цементів типу МС 22,5. Одержання цементу для мурування здійснювалось сумісним помелом портландцементного клінкеру, гіпсового каменю, гранульованого доменного шлаку, цеолітового туфу та вапняку в кульовому млині 4,2x13,0 м з сепаратором фірми “Cristian Pfeiffer”, що працює за закритим циклом помелу (додаток В).

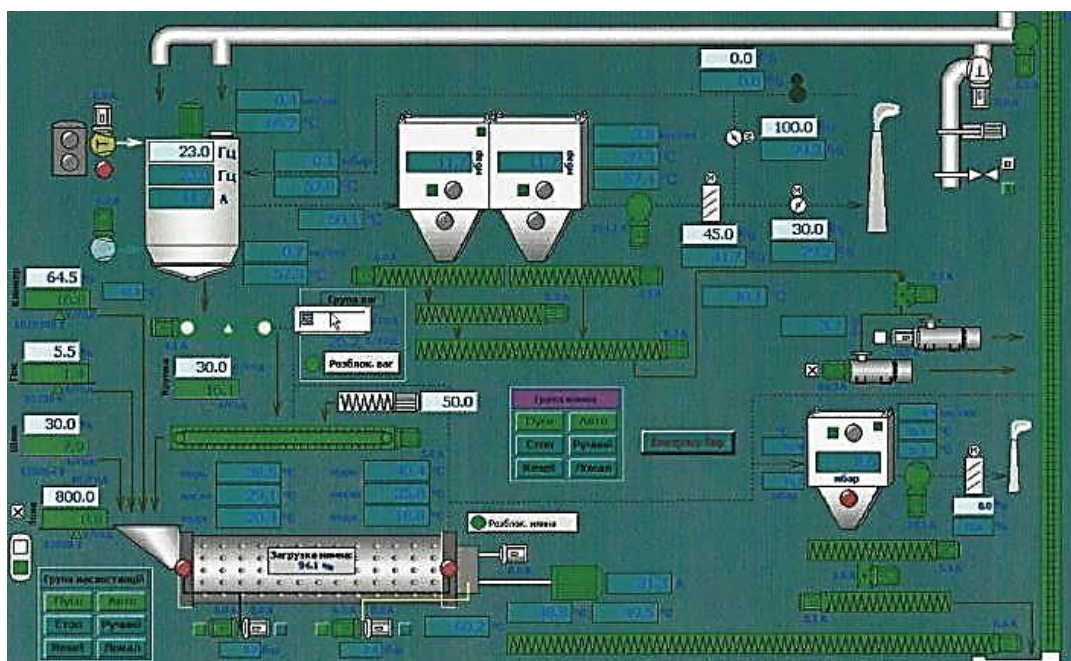


Рис. 5.2. Технологічна схема помелу за закритим циклом низькоемісійного багатокомпонентного цементу для мурування МС 22,5 ПрАТ «Івано-Франківськцемент»

Тонина помелу основних складників та готового продукту визначались за питомою поверхнею на приладі Блейна та залишком на ситі 0045, а зерновий склад аналізувався лазерним гранулометром «Mastersizer 3000». Згідно з даними гранулометричного аналізу (табл. 5.2) для низькоемісійного цементу для мурування МС 22,5 EN 413-1 вміст фракцій $\emptyset 5$; $\emptyset 10$; $\emptyset 20$, $\emptyset 60$ мкм становить 32,62; 46,43; 62,30; 88,66 %, а розмір зерен D_{10} , D_{50} , D_{90} відповідає 1,12; 11,19; 62,2 мкм. Ультрадисперсна фракція ($\emptyset < 1$ мкм) цементу складає 8,81 %. Максимум на диференційній кривій розподілу частинок цементу МС 22,5 за розмірами відповідає 3,59 мкм (рис. 5.3). Максимальне значення K_{isa} для МС 22,5 ($8,6 \text{ мкм}^{-1} \cdot \text{об.}\%$) досягається для фракції 0,314 мкм, а для фракції 5 мкм цей коефіцієнт менше в 3,1 рази і при подальшому зростанні розміру частинок істотно зменшується (рис. 5.4).

Таблиця 5.2

Гранулометричний склад цементу МС 22,5

Цемент	$\emptyset < 1$ мкм, %	$\emptyset < 5$ мкм, %	$\emptyset < 10$ мкм, %	$\emptyset < 20$ мкм, %	$\emptyset < 60$ мкм, %	D_{10} , мкм	D_{50} , мкм	D_{90} , мкм
МС 22,5	8,81	32,62	46,43	62,30	88,66	1,12	11,9	62,2

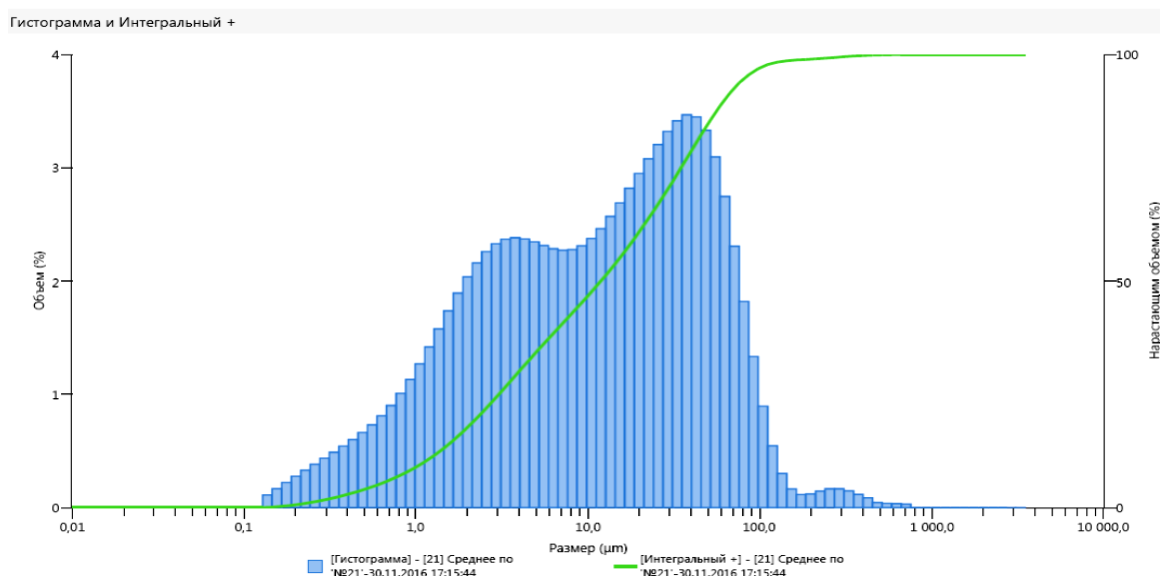


Рис. 5.3. Інтегральна та диференційна криві розподілення частинок цементу для мурування МС 22,5

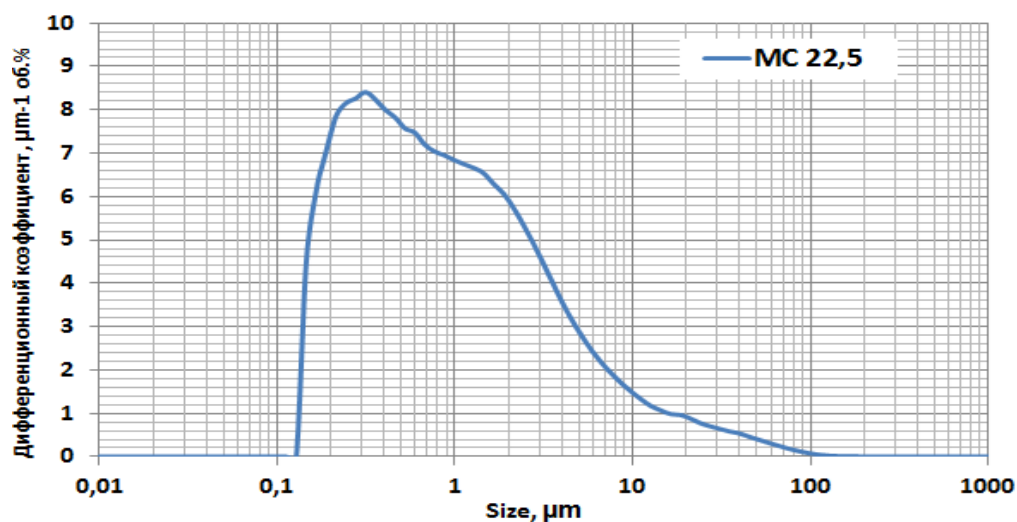


Рис. 5.4. Коефіцієнт поверхневої активності цементу для мурування МС 22,5

Таблиця 5.3

Основні показники цементу для мурування EN 413-1 МС 22,5

Основні показники	Вимоги стандарту	Значення МС 22,5	
Вміст портландцементного клінкеру, % за масою	≥ 40	40	
Залишок на ситі з отворами 90 мкм, мас. %	≤ 15	1,8	
Терміни тужавлення, хв			
початок	≥ 60	160	
кінець	-	210	
Розширення згідно EN 196-3, мм	≤ 10	немає	
Глибина занурення плунжера в розчинову суміш, мм	35 ± 3	37	
Вміст повітря, % за об'ємом	-	13	
Водоутримання, % за масою	-	97	
Рівномірність зміни об'єму, мм	≤ 10	немає	
Міцність при стиску	7 діб (рання)	$\geq 10,0$	16,1
згідно EN 196-1, МПа	28 діб (стандартна)	$\geq 22,5 \leq 42,5$	34,7
Вміст сульфату (як SO_3) згідно EN 196-2	$\leq 3,5$	-	
Вміст хлориду (як Cl) згідно EN 196-2	$\leq 0,1$	< 1	

Фізико-механічні властивості низькоемісійного багатокomпонентного цементу для мурування МС 22,5 наведені в табл. 5.3. Даний низькоемісійний

цемент МС 22,5 EN 413-1 належить до класу міцності 22,5. Згідно ДСТУ Б EN 413-1:2015 «Цемент для мурування» розроблений цемент відноситься до цементу для мурування МС 22,5.

5.3 Дослідно-промислова апробація будівельних розчинів на основі цементу для мурування МС 22,5

ТЗОВ «Підгасцька будівельна компанія». Впровадження дослідної партії цементу для мурування з повітровтягувальною добавкою МС 22,5 ДСТУ Б EN 413-1:2015 ПрАТ «Івано-Франківськцемент» у кількості 70 т. проведено при муруванні стін будинків малоповерхової житлової забудови (с. Бірки). При цьому було вирішено технологічні завдання забезпечення однорідності, легкоукладальності та запроєктованої марочної міцності будівельних розчинів (додаток Д, Е).

Розчинова суміш виготовлялась на будівельному майданчику і характеризувалась маркою за рухомістю П8 (глибина занурення конуса від 5 до 8 см), зберігала необхідну марку за рухомістю і не розшаровувалась протягом 4 год з моменту її приготування. Будівельні розчини для мурувальних робіт також застосовувались взимку при понижених додатних та від'ємних температурах (до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$). З метою прискорення тверднення мурувального розчину та усунення негативних явищ, пов'язаних з фазовими переходами води в умовах знакозмінних та від'ємних температур, при виготовленні мурувальних розчинів вводилась протиморозна добавка – форміат кальцію. Результати випробувань будівельних розчинів на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5 наведені в табл. 5.4.

При використанні цементу для мурування з повітровтягувальною добавкою МС 22,5 забезпечується висока пластичність та якість розчинових сумішей без розшарування. Цемент для мурування з повітровтягувальною добавкою МС 22,5

забезпечує високу працездатність розчину, зокрема кладки, завдяки чому прискорюються темпи будівництва, знижуються виконавчі та матеріальні витрати, що виникають при мурувальних роботах.

Таблиця 5.4

Результати випробувань модифікованих будівельних розчинів

Показник	Одиниці вимірювання	Значення		
		нормативне	фактичне (марка М50)	фактичне (марка М100)
Середня густина розчинової суміші	кг/м ³	не менше 1500	1850	1870
Розшарування	%	не більше 10	1,9	1,7
Розплив конуса	мм	-	190	205
Рухомість	см	П8 (5-8 см)	6,5	7,5
Водоутримувальна здатність	%	не менше 75	-	97,7
Міцність на стиск через 28 діб - нормальні умови тверднення	МПа	не менше 5 не менше 10	5,4	10,3
- понижені додатні температури (0...+15 ⁰ С)	МПа	-	-	8,4

ТзОВ Завод “Полімербудпром”. Виготовлено дослідну партію суміші сухої будівельної модифікованої на основі спеціального цементу для мурування EN 413-1 МС 22,5 ПрАТ «Івано-Франківськцемент» в кількості 10 тонн. Суміш суху будівельну модифіковану виготовляли методом змішування сировинних матеріалів – цемент для мурування МС 22,5 (витрата 345 кг/м³), добавка пластифікуюче-повітровтягувальної дії Master Air 81, кварцовий пісок Рогатинського родовища

($M_k = 1,1$). Технологічна схема виготовлення модифікованих будівельних розчинів наведена на рис. 5.5.



Рис. 5.5. Технологічна схема виготовлення модифікованих будівельних розчинів

Розчин на основі суміші сухої будівельної модифікованої MP1 характеризується маркою за рухомістю П8 (глибина занурення еталонного конуса 7,9 см), середньою густиною суміші $\rho_{\text{сер}} = 1818 \text{ кг/м}^3$, терміном придатності – 3,5 год з моменту приготування та маркою за міцністю на стиск М100. Розчин на основі суміші сухої будівельної модифікованої MP1 характеризуються покращеною легковкладальністю, однорідністю, подовженим терміном придатності при запроектованій марці за міцністю будівельного розчину, а також забезпечує якість цегляної кладки та стійкість до висолоутворення.

5.4 Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання модифікованого будівельного розчину та керамічної цегли

При виконанні робіт було встановлено економічну доцільність використання модифікованої керамічної лицьової цегли для підвищення експлуатаційної надійності зовнішніх стін будівель та споруд. Проведено порівняльний розрахунок використання керамічної клінкерної цегли марки М300 та керамічної лицьової цегли марки М150, покритої гідрофобізуючою нано-рідиною для зведення зовнішніх огорожувальних цегляних конструкцій, які піддаються впливу навколишнього середовища.

Розрахунок економічної ефективності від використання нано-рідини для захисту поверхні цегляних конструкцій виконано у відповідності до “Інструкції по визначенню економічної ефективності використання в будівництві нової техніки, винаходів і рацпропозицій” СН 509-78 за формулою:

$$E = (C_1 - C_2) \cdot A,$$

де E – економічний ефект від використання нового нанопокриття, грн;

C_1, C_2 – собівартість використання базового гідрофобізуючого покриття та нового нанопокриття;

A – обсяг виробництва.

Собівартість покриття визначали, виходячи з діючих цін на матеріали станом на 2018 р. Як базові варіанти використано керамічну клінкерну цеглу немодифіковану та керамічну лицьову цеглу, модифіковану ГФ-1.

З метою визначення економічної ефективності використання керамічної лицьової цегли, поверхня якої модифікована нано-рідиною, проведено економічний розрахунок з допомогою програмного комплексу АВК (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Розрахунок економічної ефективності модифікованої керамічної цегли

Найменування	Модифікування керамічної цегли		
	Клінкерна цегла	Керамічна лицьова цегла ГФ-1	Керамічна лицьова цегла Нано-рідина
Протравлення гідрофобізаторами, грн	-	1,45	1,45
Вартість матеріалів, грн	1217,26	1009,97	866,34
Загальновиробничі витрати, грн	-	0,81	0,81
Кошторисна вартість, грн	1217,26	1012,23	868,60

Фактичний економічний ефект від використання керамічної лицьової цегли, модифікованої нано-рідиною для захисту (1 м² поверхні) у порівнянні з керамічною клінкерною цеглою немодифікованою складає:

$$E = 1217,26 - 868,60 = 348,66 \text{ грн.}$$

Фактичний економічний ефект від використання нано-рідини для захисту 1 м² поверхні цегляних конструкцій у порівнянні з ГФ-1 складає:

$$E = 1012,23 - 868,60 = 143,63 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від використання модифікованої нано-рідиною керамічної лицьової цегли складає 348,66 грн/м² у порівнянні з використанням керамічної клінкерної цегли, а економічний ефект від модифікування керамічної лицьової цегли нано-рідиною складає 143,63 грн порівняно з ГФ-1.

Згідно з результатами випробувань будівельного розчину, використання модифікованих цементів добавками пластифікуюче-повітров'язувальної дії сприяє підвищенню легковкладальності розчинових сумішей при запроектованій марці за міцністю. Оскільки впровадження нової технології не передбачало додаткових

капітальних вкладень визначення економічного ефекту полягало в порівнянні витрат на одиницю продукції (1 м³ розчину) за базовим та новим варіантом.

Як базовий варіант прийнято виготовлення будівельних розчинів з використанням портландцементу ПЦ ІІ/Б-К(Ш-П-В)-400Р-Н. Нова технологія полягала у використанні модифікованих низькоемісійних цементів МС 22,5, що дозволило отримати будівельні розчини марки М100 для мурувальних робіт.

Собівартість використання однієї тонни модифікованого низькоемісійного цементу МС 22,5 порівняно з портландцементом ПЦ ІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н зменшується на 550 грн/т цементу (табл. 5.6). Оцінка економічної ефективності використання модифікованого низькоемісійного цементу МС 22,5 при виготовленні модифікованого будівельного розчину проводилась з врахуванням зниження трудомісткості та вартості робіт. Ефективність від впровадження розробки з врахуванням вартості виробництва складає 154,62 грн на 1 м³ розчину порівняно із аналогічними будівельними розчинами (табл. 5.7).

Таблиця 5.6

Техніко-економічні показники цементів

Тип цементу	Склад цементу, %						Вартість за 1 т, грн.	Викиди CO ₂ , кг/т цем.
	Клінкер	ДГШ	Цео-літ	Гіпс	Вапняк	ПАР		
ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н	82,0	18,0	0	5,0	0	0	2550,00	709,00
ПЦ ІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н	65,0	16,7	9,6	4,0	7,2	0	2490,00	560,00
МС 22,5	40,0	25,0	20,0	3,0	15,0	0,1	2000,00	346,00
Економічний ефект:							550,00 грн/т цем.	
Екологічний ефект:							363,0 кг CO ₂ /т цем.	

Таблиця 5.7

Розрахунок витрати матеріалів на виготовлення 1 м³ будівельного розчину
(марка за міцністю М 100; марка за рухомістю П8)

Вид в'язучого	Од. вим.	Стаття витрат				Вартість, грн
		В'язуче	Пісок	Вода	Вапняне тісто	
ПЦ П/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н	кг	300	1420	330	60	1740,88
МС 22,5	кг	380	1420	310	-	1586,26
Економічний ефект:						
об'єм на 1 м ³ розчину – 154,62 грн.						

Отже, використання модифікованого низькоемісійного цементу МС 22,5 з добавкою пластифікуюче-повітровтягувальної дії при проведенні мурувальних робіт забезпечує одержання модифікованих будівельних розчинів нижчої вартості з покращеними технологічними властивостями.

Висновок до розділу

1. Проведено промислову апробацію гідрофобізуючих нано-рідин на ПП «Терміт» для захисту поверхні цегляних огорожувальних конструкцій при проведенні ремонтних робіт по у м. Львові (вул. Похила, 16) та у смт. Конопниця (вул. Рудницького, 2), Львівської обл. Встановлено економічну доцільність використання розробленого складу нанопокриття, що дозволяє покращити показники якості та експлуатаційні властивості керамічної лицьової цегли. Собівартість нанесення нанопокриття на 1 м² складає 309,94 грн. Фактичний економічний ефект від використання нанопокриття порівняно з ГФ-1 становить 170,63 грн/м²; ефективність розробленого покриття порівняно з ГФ-2 без врахування пошкоджень основних конструкцій складає 141 грн/м².

2. За технологією сумісного помелу портландцементного клінкеру, гіпсового каменю, гранульованого доменного шлаку, цеолітового туфу та вапняку в кульовому млині 4,2х13,0 м з сепаратором фірми “Cristian Pfeiffer” на ПрАТ «Івано-Франківськцемент» здійснено випуск промислової партії цементу для мурування МС 22,5 в кількості 70 т та встановлена відповідність їх фізико-механічних характеристик вимогам ДСТУ Б EN 413-1:2015 «Цемент для мурування».

3. Проведеними дослідженнями при муруванні стін будинків малоповерхової житлової забудови ТзОВ “Підгаєцька будівельна компанія” у с. Бірки показано, що при використанні цементу для мурування з повітровтягувальною добавкою МС 22,5 ДСТУ Б EN 413-1:2015 ПрАТ «Івано-Франківськцемент» забезпечуються покращені фізико-механічні властивості будівельних розчинів.

4. Ефективність від впровадження мурувальних розчинів на основі модифікованих багатокомпонентних цементів МС 22,5 для зведення стін будинків малоповерхової житлової забудови з врахуванням вартості виробництва складає 154,62 грн на 1 м³ розчину порівняно із традиційними будівельними розчинами.

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 ($2,2 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$) характеризується керамічна лицьова цегла, найнижчими ($\Pi = 13,6 \%$, $W_m = 5,2 \%$, $W = 0,5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}^{0,5}$) – керамічна клінкерна цегла. Дослідженнями висолоутворення показано утворення солей на поверхні керамічної лицьової цегли, які представлені підвищеним вмістом SO_3 (51,2 мас.%) та лужних оксидів – Na_2O (36,7 мас.%), K_2O (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 ($W_m = 1,2\text{--}1,6\%$) та капілярного підтягування ($W = 0,08\text{--}0,12\text{ кг/м}^2\cdot\text{год}^{0,5}$); водопоглинання за методом дефектоскопії через 2 год витримки-падіння складає $0,002\text{ мл/см}^2$. 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 багатоконпонентних цементів для мурування. За результатами випробувань згідно з ДСТУ Б EN 196–1:2015 (В/Ц = 0,5) показано, що для багатоконпонентного цементу ($S_{\text{пит}} = 8750\text{ см}^2/\text{г}$) 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 (К = 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/м^3 , пониженою усадкою ($\epsilon_y = 0,26\text{ мм/м}$), 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°C) температур.

7. Випробуваннями зразків кладки з використанням модифікованого будівельного розчину на основі модифікованого цементу для мурування ($f_m = 10,8 \text{ Н/мм}^2$) згідно ДСТУ Б EN 1052-1:2011 показано, що границя міцності при стиску через 28 діб складає $8,5 \text{ Н/мм}^2$, а модуль пружності – $29,8 \cdot 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$. Міцність зчеплення модифікованого розчину в цегляній кладці становить $0,73 \text{ МПа}$. 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 CO_2 в 2,5 рази на тону 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 м^3 розчину.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абелешов В. І. Дослідження деяких аспектів підвищення ефективності конструкцій фасадів будівель / В. І. Абелешов // ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ • ЭНЕРГЕТИКА • ЭНЕРГОАУДИТ. – 2013. – № 11 (117). – С. 18 – 23.
2. Баженов Ю. М. Технология сухих строительных смесей: учеб. пособие / Ю. М. Баженов, В. Ф. Коровяков, Г. А. Денисов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 96 с.
3. Бліхарський З. Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд / З. Я. Бліхарський. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2008. – 108 с.
4. Будівельне матеріалознавство: підручник / [Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б. та ін.]. – К.: Ліра-К, 2012. – 624 с.
5. Бутт Ю. М. Практикум по химической технологии в'язучих материалов / Ю. М. Бутт, В. В. Тимашев. – М.: Высш. шк., 1973. – 500 с.
6. Варшавець П. Г. Модифікація поверхні та підвищення властивостей керамічної цегли: дис. канд. техн. наук: 05.17.11 / П. Г. Варшавець – Київ, 2014. – 311 с.
7. Варшавець П. Г. Причины образования и способы устранения высолов на поверхности керамического кирпича / П. Г. Варшавець, А. А. Крупа, В. И. Сай // Строительные материалы и изделия. – 2004. – № 2 (24). – С. 2 – 5.
8. Вакалова Т. В. Причины образования и способы устранения высолов в технологии керамического кирпича / Т. В. Вакалова, В. М. Погребенков, И. Б. Рева // Строительные материалы. – 2004. – № 22. – С. 30 – 31.
9. Взаимосвязь пористо-капиллярной структуры и морозостойкости керамического материала / В. З. Абдрахимов, М. П. Зелинг, Е. С. Абдрахимова, В. А. Юмина, Д. В. Абдрахимов и др. // Материаловедение. – 2005. – № 6. – С. 19 – 23.
10. Выровой В. Н. Композиционные строительные материалы и конструкции / В. Н. Выровой, В. С. Дорофеев, С. Г. Суханов // Структура, самоорганизация, свойства. Одесса: ГЕС. – 2010. – 169 с.

11. В'яжучі речовини / Р. Ф. Рунова, Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, Ю. Л. Носовський. – К.: Основа, 2012. – 448 с.
12. Гев'юк І. М. Мультимодальні композиційні портландцементи з високою ранньою міцністю та модифіковані бетони на їх основі: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.23.05 / І. М. Гев'юк; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2018. – 21 с.
13. 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.
14. 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». – 2016. – № 844. – С. 53 – 58.
15. Гивлюд М. М. Шляхи підвищення довговічності цегляних конструкцій і споруд / М. М. Гивлюд, В. Б. Назаревич, І. В. Маргаль // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – Львів, 2012. – № 9. – С. 197 – 207.
16. Гидрофобные материалы в строительстве. Теоретические и прикладные аспекты гидрофобной защиты строительных материалов / Н. Н. Дебелова, Н. П. Горленко, Ю. С. Саркисов и др. // Монография. – 2016. – 180 с.
17. Гідроізоляційні цементні композити проникної дії / А. А. Плугін, Т. О. Костюк, О. Ю. Прошин та ін. – Харків: Колегіум, 2018. – 268 с.
18. Горшков В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В. С. Горшков, В. В. Тимашев, В. Г. Савельев. – М.: Выс. шк., 1981. – 335 с.
19. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини: підручник / В. І. Гоц, В. В. Павлюк, П. С. Шилюк. – К.: Основа, 2016. – 568 с.
20. Гоц В. І. Ефективні будівельні матеріали та вироби на основі активованих паливних зол і шлаків: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.23.05. Київський національний університет будівництва і архітектури / В. І. Гоц. – К., 2009. – 36 с.
21. Гузман И. Я. Химическая технология керамики / И. Я. Гузмана. – М.:

Стройматериалы, 2003. – 496 с.

22. ДБН В.2.6-162:2010. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення. – К., 2011. – 89 с.

23. Дворкін Л. Й. Будівельне матеріалознавство: підручник / Л. Й. Дворкін. – Рівне: НУВГП, 2009. – 309 с.

24. Дворкін Л. Й. Випробування бетонів і будівельних розчинів. Проектування їх складів: навчальний посібник / Л. Й. Дворкін, В. І. Гоц, О. Л. Дворкін // К.: Основа. – 2014. – 304 с.

25. Дворкін Л. Й. Розв'язання будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, В. В. Житковський. – Рівне: НУВГП, 2011. – 174 с.

26. Дворянинова Н. В. Кладочные растворы повышенной высоло- и морозостойкости с добавками микрокремнезема и омыленного таллового пека: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Н. В. Дворянинова. – Братск, 2008. – 222 с.

27. Демидов И. В. Использование водоотталкивающих пропиток при производстве и применении керамического кирпича / И. В. Демидов // Строительные материалы. – 2007. – № 2. – С. 69 – 70.

28. Деревянко В. Н. Определение эффективности добавок пластификаторов отечественного производства / В. Н. Деревянко, Л. В. Скидан, Али М.Н. Салах // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2007. – № 11. – С. 28 – 35.

29. Дослідження будівельних розчинів з добавкою цеолітів / Т. Є. Марків, Х. С. Соболев, З. Я. Бліхарський, О. М. Гуняк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2015. – № 823. – С. 222 – 228.

30. ДСТУ Б В.2.7-61:2008 (EN 771-1:2003, NEQ). Цегла та камені керамічні рядові та лицьові. Технічні умови. – К., 2009. – 44 с.

31. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. – К., 2011. – 39 с.

32. ДСТУ Б В.2.6-207:2015. Розрахунок і конструювання кам'яних та армокам'яних конструкцій. – К., 2015. – 293 с.

33. ДСТУ Б В.2.7-245:2010. Вироби керамічні клінкерні. Технічні умови. – К., 2011. – 30 с.

34. ДСТУ Б EN 413-1:2015. Цемент для мурування. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності (EN 413-1:2011, IDT). – К.: Мінрегіон України, 2016. – 33 с.

35. ДСТУ Б EN 413-2:2015. Цемент для мурування. Частина 2. Методи випробувань. – К.: Мінрегіон України, 2016. – 24 с.

36. Ершова С. Г. Обеспечение эффективной гидрофобной защиты неорганических строительных материалов: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / С. Г. Ершова – Новосибирск, 2006. – 139 с.

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

38. Захарченко П. В. Сучасні методи захисту будівельних матеріалів від зовнішніх агресивних факторів / П. В. Захарченко, П. Г. Варшавець // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – Київ.: Знання, 2012. – Вип. 45. – С. 73 – 75.

39. Затірка Н. Про класифікацію нанорідин і теплообмін / Н. Затірка // Матеріали 7 Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 2014. – Т.: ТНТУ, 2014. – Том 1. – 198 с.

40. Ілів В. В. Особливості використання гідроізолювальних матеріалів на основі кремнійорганічних речовин / В. В. Ілів, М. М. Гивлюд, Я. В. Ілів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2015. – № 823. – С. 129 – 134.

41. Кобяко І. П. Розвиток виробництва будівельної кераміки в Україні / І. П. Кобяко, В. І. Сай, В. А. Свідерський // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – К.: Знання, 2006. – Вип. 22. – С. 35 – 39.

42. Комохов П. Г. Высолы на поверхности сооружений из цементных материалов как явление внутреннего осмоса / П. Г. Комохов, Ю. А. Беленцов // Цемент и его

применение. – 2005. – № 3. – С. 68 – 69.

43. Комохов П. Г. Структурная механика разрушения кирпичной кладки / П. Г. Комохов, Ю. А. Беленцов // Строительные материалы. – 2004. – № 11. – С. 46 – 47.

44. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво / Р. Ф. Рунова, В. І. Гоц, М. А. Саницький та ін. – К.: УВПК «ЕксОб», 2008. – 360 с.

45. Корниенко С. В. Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом / С. В. Корниенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 10. – С. 43 – 45.

46. Котів Р. М. Декоративні багатокomпонентні цементи та модифіковані будівельні штукатурні розчини на їх основі: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.23.05 / Р. М. Котів; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2013. – 22 с.

47. Кремнійорганічні покриття для захисту матеріалів з різним ступенем деформативності / Д. І. Аршинников, В. А. Свідерський, К. В. Осауленко, Н. В. Мережко // International Scientific and Practical Conference World science. – 2016. – Вип. 1. – С. 10 – 15.

48. Кропивницька Т. П. Вплив нанорідин на стійкість зовнішніх цегляних стін будівель і споруд щодо висолоутворення / Т. П. Кропивницька, Р. М. Семенів, А. Т. Камінський // Збірник тез доповідей II міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні». Харків, 2018. – С. 127 – 128.

49. Кропивницька Т. П. Низькоемісійні багатокomпонентні цементи в технології будівельних розчинів / Т. П. Кропивницька, Г. С. Іващишин, Р. М. Семенів // Вісник ОДАБА. – 2017. – № 68. – С. 70–75.

50. Кропивницька Т. П. Пластифіковані цементи та будівельні мурувальні розчини на їх основі: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.23.05 / Т. П. Кропивницька; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2011. – 23 с.

51. Лесовик В. С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: монография / В. С. Лесовик. – 2-е изд. доп. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 287 с.

52. Лившиц Д. В. Повышение долговечности и совершенствование конструкций наружных кирпичных и каменных стен энергоэффективных зданий / Д. В. Лившиц, О. И. Пономарев, Л. М. Ломова // Сейсмическое строительство. Безопасность сооружений. – 2008. – № 6. – С. 42 – 44.

53. Логанина В. И. Стойкость защитно-декоративных покрытий наружных стен зданий / В. И. Логанина, Л. П. Орендлихер. – М.: Издательство АСВ. – 2000. – 106 с.

54. Лугинина И. Г. Влияние добавок на высолообразование / И. Г. Лугинина, И. Н. Афонина // Цемент и его применение. – 2008. – № 4. – С. 116 – 117.

55. Малахова А. Н. Конструктивные решения наружных стен кирпичных зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2009. – № 1. – С. 22 – 23.

56. Марціх А. С. Гідроізоляційні будівельні розчини на основі портландцементів, модифікованих комплексною добавкою, що містить неочищені вуглецеві нанотрубки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.05 / А. С. Марціх. Київський національний університет будівництва і архітектури. – К., 2016. – 21 с.

57. Механизмы высолообразования на поверхностях наружных стен зданий из штучных стеновых материалов / В. В. Бабков, В. П. Климов, Р. Р. Сахибгареев и др. // Строительные материалы. – 2007. – № 8. – С. 74 – 76.

58. Назаревич Б. Л. Методи захисту від корозії залізобетонних конструкцій і споруд. Монографія / Б. Л. Назаревич, Й. Й. Лучко, Б. З. Парнета // Львів : Каменяр, 2016. – 415 с.

59. Найвер І. Л. Вплив поверхневого оброблення на морозостійкість лицьової цегли / І. Л. Найвер // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23 (7). – С. 97 – 101.

60. Огородник И. В. Особенности производства эффективной стеновой керамики

/ И. В. Огородник // Строительные материалы изделия. – 2012. – №3 (74). – С. 23 – 26.

61. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів: підручн / Р. Ф. Рунова, В. І. Гоц, О. Г. Гелевера та ін. – 3-є вид. – К.: Основа, 2017. – 528 с.

62. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография / А. Н. Плугин, А. А. Плугин, О. А. Калинин и др. – К.: Наук. думка, 2012. – 288 с.

63. 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.

64. Пат. 109910 Україна, МПК С09D5/00. Атмосферостійке захисне покриття / Гивлюд М. М., Семенів Р. М. – № u201603937; заявл. 11.04.2016; опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17. – 4 с.

65. 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.

66. Пат. 6391390 США МПК С09 D 133/04. Лаки для покриттів с повышенной долговечностью / BASF Corp. Boisseau John E., Aubin Donald L., Ohrbom Walter H. – № 09/532763; опубл. 21.05.2002.

67. 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.

68. Причини і способи запобігання утворення висолів на поверхні керамічних виробів / О. В. Роменський, О. С. Цибулько, В. Є. Дехтяров та ін. // Хімічна промисловість Україна. – 2001. – № 5. – С. 11 – 13.

69. Пушкарьова К. К. Дослідження тріщиностійкості та корозійної стійкості наномодифікованих гідроізоляційних розчинів / К. К. Пушкарьова, М. В. Суханевич, А. С. Марціх // БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА

САНІТАРНА ТЕХНІКА. – 2015. – Вип. 56. – С. 141 – 146.

70. Пушкарева Е. К. Гидроизоляционные покрытия проникающего действия на основе шлакосодержащих цементов, модифицированных природными цеолитами / Е. К. Пушкарева, М. В. Суханевич, Е. В. Бондарь // Восточно-Европ. журн. передовых технологий. – 2014. – № 3/6. – С. 57 – 62.

71. Розенталь Н. К. Методы предупреждения образования и удаления высолов с поверхности строительных конструкций / Н. К. Розенталь, В. Ф. Степанова, Г. В. Чехний // Строительные материалы, оборудование и технологии 21 века. – 2000. – №4. – С. 25 – 26.

72. Рунова Р. Ф. Технологія модифікованих будівельних розчинів / Р. Ф. Рунова, Ю. Л. Носовський. – К.: КНУБА, 2007. – 256 с.

73. Рыщенко М. И. Повышение эксплуатационных свойств керамики / М. И. Рыщенко, Г. В. Лисачук. – Харьков: Изд-во "Вища шк.", 1987. – 103 с.

74. Саницький М. А. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посіб. / М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Марущак. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 236 с.

75. Саницький М. А. Модифіковані композиційні цементи / М. А. Саницький, Х. С. Соболев, Т. Є. Марків. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2010. – 132 с.

76. Свидерский В. А. Полифункциональные кремнийорганические защитные покрытия на основе оксидов и силикатов / В. А. Свидерский. – К., 1987. – 466 с.

77. 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.

78. 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.

79. Семенів Р. М. Міцність і руйнування цегляної кладки на основі модифікованих багатокомпонентних цементних розчинів / Р. М. Семенів, Т. П. Кропивницька, І. І. Кіракевич // Збірник тез доповідей міжнародної

конференції «Структурутворювання, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій». Одеса, 2018. – С.124 – 126.

80. Середницький Я. А. Кремнійорганічні лакофарбові композиційні покриття в протикорозійному захисті / Я. А. Середницький, В. І. Марухіна, О. І. Гулай // Хімічна промисловість України – 2001. – № 2. – С. 17 – 21.

81. Силоченко С. В. Изменение поврежденности цементного камня в условиях многократного увлажнения и высушивания / С. В. Силоченко, А. С. Дорофеев // Вісник Одеської академії буд-ва та арх-ри. – 2005. – № 20. – С. 186 – 189.

82. Синявский В. В. Материалы для гидроизоляции и гидрофобизации сооружений / В. В. Синявский // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. – 2003. – № 6. – С. 22 – 23.

83. Сім'ячко О. І. Властивості покриттів на основі модифікованих кремнійорганічних наповнених композицій / О. І. Сім'ячко // Хімічна промисловість України. – 2002. – № 1. – С. 26 – 29.

84. Снижение водопоглощения и повышение морозостойкости керамического кирпича водорастворимыми кремнийорганическими соединениями / И. В. Генцлер, Ю. И. Затолокин, С. Г. Маркина и др. // Международный сборник научных трудов. – 2000. – С. 69 – 73.

85. Солодкий С. Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах / С. Й. Солодкий. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2008. – 144 с.

86. Степанова В. Ф. Причины образования высолов на поверхности строительных конструкций / В. Ф. Степанова, Н. К. Розенталь, Г. В. Чехний // Строительные материалы, оборудование и технологии 21 века. – 2000. – №3. – С. 12 – 13.

87. Сторчай Н. С. Модифицированная стеновая керамика на основе комплексно активированных сырьевых смесей / Н. С. Сторчай // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития. – Днепропетровск: ПГАСА, 2017. – Вып. 99. – С. 160 – 164.

88. Сторчай Н. С. Фізико-хімічні основи виготовлення модифікованої стінової кераміки при знижених температурах випалу: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.23.05. Придніпровська державна академія будівництва та архітектури / Н. С. Сторчай. Дніпропетровськ, 2016. – 32 с.
89. Ступишин Л. Ю. Методы и проблемы теплотехнических испытаний многослойных кладок / Л. Ю. Ступишин, А. В. Масалов // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 2. – С. 41 – 43.
90. Суханов В. Г. Структура материала в структуре конструкции. Монография / В. Г. Суханов, В. Н. Выровой, О. А. Коробко. – Одесса: «ПОЛИГРАФ», 2016. – 244 с.
91. Ушеров-Маршак О. В. Бетони та сухі будівельні суміші. Тлумачний словник: Навчальний посібник / О. В. Ушеров-Маршак, К. В. Латорець. – Х.: Колорит, 2010. – 104 с.
92. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: навч. посібник / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В.Л. Беспалов // Макіївка: ДонНАБА, 2006. – 303 с.
93. Франивський А. А. Архитектуры и конструктивно-технические возможности керамического кирпича в современном строительстве / А. А. Франивський // Будмайстер, 2001. – № 13. – С. 16 – 19.
94. Хойслер В. Н. Фасады многоэтажных зданий – современные тенденции / В. Н. Хойслер // Витрина. Фасад. – 2006. – № 34. – С. 11 – 16.
95. Черняк Л. П. Розвиток виробництва та ринку будівельної кераміки в Україні / Л. П. Черняк, В. Л. Черняк // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – К.: Знання, 2008. – № 3 (30) – С. 85 – 89.
96. Шейнич Л. А. Процессы саморганизации структуры строительных композитов / Л. А. Шейнич, Е. К. Пушкарева. – К.: Гамма-принт, 2009. – 153 с.
97. Шилова М. В. Кремнийорганические гидрофобизаторы – эффективная защита строительных материалов и конструкций / М. В. Шилова // Строительные материалы. – 2003. – № 12. – С. 40 – 41.
98. Шнайдер М. Экономические и технические преимущества композиционных

- цементов / М. Шнайдер, З. Бецнер // Цемент и его применение, 2016. – С. 36 – 39.
99. Штарк Й. Цемент и известь / Й. Штарк, Б. Вихт: [пер. с нем. А. Тулаганова; под ред. П. Кривенко]. – К.: Оранта, 2008. – 480 с.
100. Щелочные цементы: монография / П. В. Кривенко, Р. Ф. Рунова, М. А. Саницкий, И. И. Руденко. – К.: Основа, 2015. – 448 с.
101. ASTM C1324 “Standard Test Method for Examination and Analysis of Hardened Masonry Mortar” Annual Book of Standards, Vol. 04.05, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
102. A new model based on experimental results for the thermal characterization of bricks / J. - L. Vivanocos, J. Soto, I. Perez, J. V. Ros-Lis, R. Martínez-Máñez // Building and Environment. – 2009. – Vol. 44. No. 5. – P. 1047 – 1052.
103. A simplified theoretical model for the evaluation of structural behaviour of masonry spandrels / B. Calderoni, E. A. Cordasco, P. Lenza, P. Gaetana // Journal of Materials and Structural Integrity. – 2011. – Vol. 5. No. 2/3. – P. 192 – 214.
104. Bashir M. Suleiman. Thermal Load Calculations of Multilayered Walls / Suleiman M. Bashir // World Academy of Science. Engineering and Technology. – 2012. – Vol. 6. No. 4. – P. 627 – 631.
105. Benavente D. Influence of microstructure on the resistance to salt crystallisation damage in brick / D. Benavente // Materials and Structures. – 2006. – Vol. 39. – P. 105 – 113.
106. Benetzungswinkel-stabilitat und algenbesiedlung ausgewahlter fassadenoberflächen / L. Koss, N. Lesnych, J. Werder // Reihe Altbausanierung Heft 2. – 2008. – P. 51 – 66.
107. Bilim C. Properties of cement mortars containing clinoptilolite as a supplementary cementitious material / C. Bilim // Construction and Building Materials. – 2011. – Vol. 25. – P. 3175 – 3180.
108. Bolte G. Efflorescence on concrete products - causes and strategies for avoidance / G. Bolte, W. Dienemann // ZKG International. – 2004. – Vol. 57. No 9. – P. 78 – 86.
109. Bonen D. A Microstructural Study of the Effect Produced by Magnesium Sulfate on Plain and Silica Fume Bearing Portland Cement Mortars / D. Bonen // Cement and

Concrete Research. – 1993. – Vol. 23. – P. 541 – 553.

110. Brocken H. White efflorescence on brick masonry and concrete masonry blocks, with special emphasis on sulfate efflorescence on concrete blocks / H. Brocken, T. G. Nijland // *Construction and Building Materials*. – 2004. – № 18. – P. 315 – 323.

111. Campillo I. High performance nanostructured materials for construction / I. Campillo, J. S. Dolado, A. Porro // *Nanotechnology in construction RSC publications*. – 2004. – P. 215 – 225.

112. Characterization of a hybrid nano-silica waterborne polyurethane coating for clay bricks / S. L. Pagliolico, E. D. Ozzello, G. Sassi, R. Bongiovanni // *Journal of Coatings Technology and Research*. – 2016. – Vol. 13. – P. 267 – 276.

113. Colorless Coatings for Brick Masonry / Brick Industry Association. – 2008. – TN 6A. – p. 14.

114. Combustion of nano-aluminum and liquid water / G. A. Risha, S. F. Son, R. A. Yetter, V. Yang, B. C. Tappan // *Proceedings of the Combustion Institute*. – 2007. – Vol. 31. – P. 2029 – 2036.

115. Chatterji S. Freezing of air-entrained cement-based materials and specific actions of air-entraining agents / S. Chatterji // *Cement and Concrete Composites*. – 2003. – Vol. 25 (7). – P. 759 – 765.

116. Damage to Polymer Coating on Facing Brick Surface in Operated Buildings / Iu. Ginchitskaia, G. Yakovleva, O. Kizinievich and others // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 195. – P. 189 – 196.

117. Decorative multi-component alkali activated cements for restoration and finishing works / P. Kryvenko, M. Sanytsky, T. Kropyvnytska, R. Kotiv // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 897. – P. 45 – 48.

118. Demirba Ç. Effects of an Al₂O₃ nano-additive on the performance of ceramic coatings prepared with micro-arc oxidation on a titanium alloy / Ç. Demirba, A. Ayday // *Materials and technology*. – 2017. – Vol 51 (4). P. 613–616.

119. Dow C. Calcium Carbonate Efflorescence on Portland Cement and Building Materials / C. Dow, F. P. Glasser // *Cement and Concrete Research*. – 2003. – № 33. – P. 147 – 154.

120. Effects of particle size and pressure on combustion of nano-aluminum particles and liquid water / D. S. Sundaram, V. Yang, Y. Huang, G. A. Risha, R. A. Yetter // *Combustion and Flame*. – 2013. – Vol. 160. – P. 2251 – 2259.
121. Effects of Two Redispersible Polymer Powders on Efflorescence of Portland Cement-based Decorative Mortar / H. Zhu, P. Wang, R. Wang, G. Zhang // *Materials science*. – 2014. – Vol. 20. – P. 345 – 350.
122. Fic S. B. Procecy samoorganizacji struktury kompozytowych matirialow budowlanych / S. B. Fic, V. N. Vyrovoy, V. S. Dorofeev – Lublin: Politechnika Lublenska, 2013. – p. 143.
123. Formation of structure of high-strength composites with account of interactions between liquid phase and disperse particles / A. Plugin, E. Dedeneva, T. Kostyuk, D. Bondarenko, O. Demina // *MATEC Web of Conferences*. – 2017. – Vol. 116. – 01010.
124. Gagné R. Air entraining agents / R. Gagné // *Science and Technology of Concrete Admixtures* / R. Gagné, 2016. – P. 379 – 391.
125. Glasser F. P. Calcium Carbonate Efflorescence on Portland Cement and Building Materials // *Cement and Concrete Research*. 2003. – Vol. 33. – P. 147 – 154.
126. Impact of modifiers on the properties of brick masonry construction / T. Kropyvnytska, R. Semeniv, M. Chekaylo, A. Kaminsky // *The international journal Sustainable development*. – 2018. – Vol. 2. – P. 77–82.
127. Influence of mineralogy and firing temperature on porosity of bricks / G. Cultrone, E. Sebastia'n, K. Elert, M. J. de la Torre, O. Cazalla, C. R. Navarro // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2004. – Vol. 24. – P. 547 – 564.
128. 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.
129. Izaguirrea A. Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars / A. Izaguirrea, J. Lanasb, J. I. Álvarez // *Cement and Concrete Research*. – 2009. – Vol. 39. – P. 1095 – 1104.
130. Kamal G. S. The effect of Nano-liquid on the properties of hardened concrete / G. S. Kamal, H. A. Mohammedin // *Housing and Building Research Centre Journal*. –

2013. – Vol. 9. – P. 210 – 215.

131. 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.

132. Larbi J. A. Microscopy applied to the diagnosis of the deterioration of brick masonry / J. A. Larbi // Construction and Building Materials. – 2004. – Vol. 18. – P. 299 – 307.

133. Lothenbach B. Supplementary cementitious materials / B. Lothenbach, K. Scrivener, R. D. Hooton // Cement and Concrete Research. – 2011. – Vol. 41, № 12. – P. 1244 – 1256.

134. Łukowski P. Domieszki chemiczne do zapraw i betonów / P. Łukowski. – Kraków: Polski cement. – 1998. – 32 s.

135. Mahyuddin R. Effects of polymer modification on the permeability of cement mortars under different curing conditions: a correlational study that includes pore distributions water absorption and compressive strength / R. Mahyuddin, A. T. Amin // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 28. – P. 561 – 570.

136. Middendorf B. Nanoscience and nanotechnology in cement materials / B. Middendorf, N. B. Singh // Cement International. – 2008. – № 1. – P. 56 – 54.

137. Najduchowska M. Wpływ związków hydrofobowych na właściwości zapraw cementowych i gipsowych / M. Najduchowska, P. Pichniarczyk // CEMENT WAPNO BETON. – 2010. – № 2010/3. – S. 141 – 148.

138. Nazari A. Al₂O₃ nanoparticles in concrete and different curing media / A. Nazari, S. Riahi // Energy Buildings. – 2011. – Vol. 43. – P. 1480 – 1488.

139. Nilpairach S. Surface Modification of Bricks by Chitosan Coatings / S. Nilpairach, S. T. Dubas // Journal of Metals, Materials and Minerals. – 2008. – Vol. 18. – P. 33 – 37.

140. Optimization of multi-component cements containing cement clinker, slag, V-fly ash, limestone / M. Muller, H-M. Ludvig, M. Ben Haha, M. Zajac // 19th Internationale Baustofftagung. – 2015. – Vol. 1. – P. 449 – 456.

141. Pawluk T. Laserowy analizator uziarnienia / T. Pawluk, Z. Adamchyk, W. Paprotny // Cement, wapno, beton. – 2000. – № 4. – S. 143 – 145.

142. Physico-chemical characterisation of bricks all through the manufacture process in relation to efflorescence salts / A. Andrés, M. C. Díaz, A. Coz, M. J. Abellán, J. R. Viguri, // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2009. – Vol. 29. – P. 1869 – 1877.
143. Piechowka M. Wpływ kamienia wapiennego na właściwości reologiczne zaczynu cementowego / M. Piechowka, Z. Giergiczny // *Budownictwo technologie, architektura. Polski Cement*. – 2011. – № 1 (53). – P. 58 – 63.
144. Processes of Fatigue Destruction in Nanopolymer-Hydrophobised Ceramic Bricks / S. Fic, A. Szewczak, D. Barnat-Hunek, G. Łagód // *Materials (Basel)*. – 2017. – Vol. 10(1). – p. 44.
145. Processing, microstructure and tensile properties of nano-sized Al_2O_3 particle reinforced aluminum matrix composites / H. Su, W. Gao, Zh. Feng, Zh. Lu // *Materials and Design*. – 2012. – Vol. 36. – P. 590 – 596.
146. Šadauskienė J. Effect of Hydrophobic Materials on Water Impermeability and Drying of Finish Brick Masonry /, J. Ramanaukas, V. Stankevičius // *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA)*. – 2003. – Vol. 9, No. 1. – P. 94 – 98.
147. Sanytsky M. Modified plasters for restoration and finishing works / M. Sanytsky, T. Kropyvnytska, R. Kotiv // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 923. – P. 42 – 47.
148. Sikora P. The Influence of Nanomaterials on the Thermal Resistance of Cement-Based Composites – A Review / P. Sikora, M. Elrahman, S. Dietmar // *Nanomaterials*. – 2018. – Vol. 8(465). – p. 33.
149. Sghaier N. Effect of Efflorescence Formation on Drying Kinetics of Porous Media / N. Sghaier, M. Prat // *Transport in Porous Media*. – 2009. – № 80. – P. 441 – 454.
150. Shabanova G. Phase composition and strength of cement stone with a complex additive / G. Shabanova, A. Korohodska, V. Shumejko // *MATEC Web of Conferences*. – 2017. – Vol. 116. – 01014.
151. Sharobim K. The effect of Nano-liquid on the properties of hardened concrete / K. Sharobim, H. Mohammedin // *HBRC Journal*. – 2013. – Vol. 9. – P. 210 – 215.

152. Studying the effect of nano-liquids on the operational properties of brick building structures / T. Kropyvnytska, R. Semeniv, R. Kotiv, A. Kaminsky, V. Gots // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol. 5/6(95). – P. 27 – 32.
153. The effect of structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive compositions based on mineral binders / O. Pluhin, A. Plugin, D. Plugin, O. Borziak, O. Dudin // *Matec Web of Conference*. – 2017. – Vol.116. – 01013.
154. The role of cement in the 2050 low carbon economy. Cembureau.
155. The role of chemical admixtures in the formation of the structure of cement stone / V. Sopov, L. Pershina, L. Butskaya, E. Latores, O. Makarenko // *MATEC Web of Conferences*. – 2017. – Vol. 116. – 01018.
156. Van Hess R. Damage development to treated brick masonry in a long-term salt crystallisation test / R. van Hess, H. Brocken // *Construction and Building Materials*. – 2004. – Vol. 18. – P. 331 – 338.
157. Varshavets P. G. Peculiarities of the structure and hydro physical properties of face brick / P. G. Varshavets, V. A. Svidersky, L. P. Chernyak // *European applied sciences / Stuttgart, Germany: ORT Publishing*. – 2014. – № 1. – P. 106 – 110.
158. Yumrutas R. Periodic solution of transient heat flow throw through multilayer walls and flat roofs by complex finite Fourier transform technique / R. Yumrutas, M. Unsa, M. Kanog // *Building and Environment*. – 2005. – Vol. 40. No. 3. – P. 1117 – 1126.

ДОДАТКИ

Додаток А

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор ПП “Терміт”

Т. В. Камінський

“Терміт” 2018 р.



А К Т

про виготовлення та використання нанопокриття для захисту поверхні цегляної конструкції

Нами, представником ПП “Терміт” директором Камінським Т.В. та представниками Національного університету “Львівська політехніка” д.т.н., професором Саницьким М.А., к.т.н., доцентом Кропивницькою Т.П., аспірантом Семенів Р.М. складено цей акт про те, що в серпні 2018 р. виготовлено захисне нанопокриття в кількості 112 л.

Нанопокриття представляє колоїдний розчин, що містить чистий поліметилфенілсилоксановий лак, оксид алюмінію та нанопорошок на основі активного Al_2O_3 . Захисне покриття одержували шляхом механічного змішування компонентів. Технічні характеристики захисного нанопокриття наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Технічна характеристика захисного нанопокриття

№ з/п	Характеристика	Значення
1	Зовнішній вигляд	Рідина прозора
2	Густина, кг/м ³	1,05
3	Вміст сухої речовини, %	5
4	В'язкість по Брукфілду 1,100 обертів, сРс	10
5	рН середовище	6
6	Час гелеутворення, хв	240
7	Класифікація шкідливості відповідно до ЕС 1999/45	безпечний
8	Час висихання	1-2 години
9	Температура застосування	від +5°C до +30°C

Покриття на поверхню керамічної цегляної конструкції наносили в 1 шар з допомогою пульверизатора. Захисне нанопокриття ущільнює структуру поверхні за рахунок колювання пор і мікротріщин, що забезпечує зниження

капілярного підтягування кладки. При цьому підвищується атмосферостійкість та морозостійкість цегляних будівельних конструкцій. Результати випробувань захисного нанопокриття представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати випробувань захисного нанопокриття

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Значення показника	
		Контрольний зразок (не оброблений)	Зразок, оброблений захисним нанопокриттям
Водопоглинання	%	16,5	1,2
Капілярне підтягування	кг/м ² ·год ^{0,5}	2,2	0,08
Атмосферостійкість - втрата міцності	%	15,2	5,1
Морозостійкість:			
- втрата міцності	%	19,0	10,5
- втрата маси	%	8,6	3,9

Нанопокриття було використано для захисту поверхні цегляних огорожувальних конструкцій при проведенні ремонтних робіт по вул. Похила 16 у м. Львові та по вул. Рудницького 2, смт. Конопниця, Львівської обл.

При захисті поверхні захисним нанопокриттям забезпечується збільшення атмосферостійкості, морозостійкості та висолостійкості, що призводить до підвищення довговічності цегляних конструкцій, які працюють в умовах підвищеної вологості та знакозмінних температур.

Директор ПП "Терміт"



Каміньський Т. В.

Представники Національного університету "Львівська політехніка":

Зав. кафедри будівельного виробництва

д.т.н., професор

к.т.н., доцент

аспірант

Саницький М.А.

Кропивницька Т.П.

Семенів Р.М.

Додаток Б



РОЗРАХУНОК

економічної ефективності використання нанопокриття
для захисту поверхні цегляної конструкції

При виконанні робіт було встановлено економічну доцільність розробленого складу нанопокриття, що дозволяє покращити показники якості та експлуатаційні властивості керамічної лицьової цегли. Розрахунок економічної ефективності від використання нанопокриття для захисту поверхні цегляних конструкцій за формулою:

$$E = (C_1 - C_2) \cdot A,$$

де E – економічний ефект від використання нового нанопокриття, грн;

C_1, C_2 – собівартість використання базового гідрофобізуючого покриття та нового нанопокриття на одиницю виконаних робіт;

A – обсяг виконаних робіт.

Собівартість покриття визначали, виходячи з діючих цін на матеріали станом на серпень 2018 р. Як базові варіанти використано покриття на основі кремнієвої смоли ГФ-1 (Мегатрон-К ПП «Терміт») та акрилових полімерів ГФ-2 (NANOPREX ТЗОВ «ХЕМТЕХ БАЙЕРН УКРАЇНА»).

Захисне нано-покриття містить полісилоксановий компонент – чистий поліметилфенілсилоксановий лак, наповнювач – оксид алюмінію та нанопорошок на основі активного алюмінію Al_2O_3 , додаток – залізо оксид при наступному співвідношенні компонентів, мас. %: поліметилфенілсилоксановий лак – 35, алюмінію оксид – 55, заліза оксид – 10, нано- Al_2O_3 – 0,8. Розрахунок собівартості захисного нанопокриття у порівнянні з гідрофобізуючими покриттями на основі кремнійорганічних сполук та акрилових полімерів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльний розрахунок собівартості нанопокриття та покриття на основі кремнійорганічних сполук і акрилових полімерів

Найменування показників	ГФ-1	ГФ-2	Нанопокриття
Кількість нанесення, шари	2	2	1
Витрата матеріалів (1 шар нанесення), л/м ²	0,5	0,5	0,5
Вартість 1 л покриття, грн.	428,57	243,85	569,88
Собівартість будівельних робіт, грн/м ²	52	65	25
Вартість нанесеного покриття, грн/м ²	428,57	243,85	284,94
Собівартість виконаних робіт, грн/м ²	480,57	308,85	309,94

Собівартість нанесення нанопокриття на 1 м² поверхні складає $C_1 = 309,94$ грн.
Собівартість покриття на основі кремнійорганічних сполук ГФ-1 складає $C_2 = 480,57$ грн/м². Собівартість покриття на основі акрилових полімерів ГФ-2 складає $C_2 = 308,85$ грн/м².

Фактичний економічний ефект від використання нанопокриття для захисту поверхні цегляних конструкцій у порівнянні з ГФ-1 складає:

$$E_1 = 480,57 - 309,94 = 170,63 \text{ грн/м}^2.$$

Ефективність використання розробленого захисного нанопокриття у порівнянні з ГФ-2 базується на збільшенні довговічності оброблених цегляних конструкцій. Економічний ефект з врахуванням терміну експлуатації визначається за формулою:

$$E_2 = Z_1 \cdot f - Z_2,$$

де Z_1, Z_2 – собівартість робіт за базовим і проектним варіантом,
 f – коефіцієнт, що враховує термін служби і визначається за формулою:

$$f = (P_1 + E_n) / (P_2 + E_n),$$

де P_1 і P_2 – норми реновації відповідно до терміну служби,
 E_n – норма прибутку (середня ефективність) у галузі.

$$E_2 = 308,85 \cdot (0,2155 + 0,135) / (0,1054 + 0,135) - 309,94 = 141,33 \text{ грн/м}^2.$$

Отже, ефективність застосування розробленого покриття в порівнянні з ГФ-2 без врахування пошкоджень основних конструкцій складає 141 грн/м².

Економічний ефект від впровадження при проведенні ремонтних робіт у м. Львові (вул. Похила, 16) та смт. Конопниця, Львівської обл. (вул. Рудницького, 2) розрахований за базовим матеріалом ГФ-1 складає:

$$E = 224 \text{ м}^2 \cdot 170,63 \text{ грн/м}^2 = 38221 \text{ грн.}$$

Отже, використання нанопокриття дає змогу не тільки підвищити економічну ефективність, але й покращити експлуатаційні властивості цегляних конструкцій, що сприятиме задоволенню потреби користувачів у надійних конструкціях із гарантованим терміном довговічності та надійності.

Директор ПП “Терміт”

 Камінський Т. В.

Представники Національного університету “Львівська політехніка”:

к.т.н., доцент

 Кропивницька Т. П.

к.т.н., доцент

 Мельник В. М.

аспірант

 Семенів Р. М.

Додаток В

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Голова правління

ПрАТ “Івано-Франківськцемент”

М.Ф. Круць

“ 16 ” 05 2016 р.



А К Т

про випуск промислової партії цементу для мурування EN 413-1 МС 22,5

Нами, представниками ПрАТ “Івано-Франківськцемент” начальником управління з якості Горпинком О.Ф., начальником лабораторії і ВТК Гев'юк І.М. та представниками Національного університету “Львівська політехніка” д.т.н., професором Саницьким М.А., к.т.н., доцентом Кропивницькою Т.П., аспірантом Семенів Р.М. складено даний акт в тому, що в травні 2016 р. на ПрАТ “Івано-Франківськцемент” проведено випуск промислової партії цементу для мурування з повітровтягувальною добавкою EN 413-1 МС 22,5 в кількості 70 тонн.

Для виготовлення цементу для мурування використовувався портландцементний клінкер нормованого мінералогічного складу (табл. 1). В якості мінеральних добавок використані гранульований доменний шлак (ГДШ) Криворізького гірничо-металургійного комбінату "ArcelorMittal Кривий Ріг", цеолітовий туф Сокирницького родовища та карбонатний мікронаповнювач – вапняк Дубівецького родовища. Хімічний склад мінеральних добавок наведений в табл. 2.

Таблиця 1

Хімічний і мінералогічний склад портландцементного клінкеру

Вміст оксидів, мас.%								Мінералогічний склад, мас.%			
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
66,04	12,7	5,42	4,0	0,93	0,02	1,0	0,8	62,42	13,62	7,06	12,32

Таблиця 2

Хімічний склад мінеральних добавок

Мінеральна добавка	Вміст оксидів, мас.%							
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
ГДШ	44,59	37,97	8,98	1,06	4,09	0,38	0,59	1,73
Цеолітовий туф	1,54	72,85	11,48	2,58	0,51	2,44	1,25	0,03
Вапняк	52,60	4,50	1,05	0,34	0,54	0,18	-	0,14

Одержання цементу для мурування здійснювалось сумісним помелом портландцементного клінкеру, гіпсового каменю, гранульованого доменного шлаку, цеолітового туфу та вапняку в кульовому млині 4,2x13,0 м з сепаратором фірми “Cristian Pfeiffer”, що працює за закритим циклом помелу. При помелі цементу для мурування в якості повітровтягувальної добавки використано модифікатор AeroCrete 1 (LP) МТС-chemie. Фізико-механічні випробування цементу для мурування проведені в центральній заводській лабораторії ПрАТ “Івано-Франківськцемент”. За результатами проведених досліджень (табл. 3) цемент для мурування відповідає типу МС 22,5 згідно ДСТУ Б EN 413-1.

Таблиця 3



Фізико-механічні властивості цементу для мурування EN 413-1 МС 22,5

Основні показники		Вимоги стандарту	Значення
Питома поверхня, см ² /г		-	7500
Залишок на ситі з отворами 90 мкм, мас.%		≤ 15,0	1,8
Нормальна густина тіста, НГТ, %		-	32,5
Терміни тужавлення, хв	початок	≥ 60	120
	кінець	-	180
Рівномірність зміни об'єму, мм		≤ 10	немає
Вміст повітря, % за об'ємом		≤ 22	13
Водоутримання розчинової суміші, % за масою		-	97
Глибина занурення плунжера в розчинову суміш, мм		35 ± 3	37
Міцність при стиску згідно EN 196-1, МПа	7 діб (рання)	≥ 10,0	13,7
	28 діб (стандартна)	≥ 22,5 ≤ 42,5	24,2
Водовідділення, % об.		-	12,5

Представники ПрАТ “Івано-Франківськцемент”:

Начальник управління з якості

Начальник лабораторії і ВТК

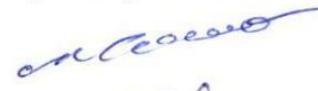


 Горпинко О.Ф.
 Гев`юк І.М.

Представники Національного університету “Львівська політехніка”:

д.т.н., професор

к.т.н., доцент

аспірант

 Саницький М.А.
 Кропивницька Т.П.
 Семенів Р. М.

Додаток Г

ДКПШ 23.64.10

УКНД 91.100.10



**СУХА БУДІВЕЛЬНА СУМІШ МОДИФІКОВАНА
ДЛЯ МУРУВАННЯ**

Технічні умови

ТУ У 23.5-02071010-175:2018


(проект)

РОЗРОБЛЕНО


Завідувач кафедри будівельного виробництва
НУ «Львівська політехніка», керівник ВЛБМВ,
д.т.н., проф.

 Саницький М.А.

к.т.н., доц. кафедри будівельного виробництва

 Крoпивницька Т.П.

Аспірант кафедри будівельного виробництва

 Семенів Р.М.

2018

ЗМІСТ

1. Сфера застосування	160
2. Нормативні посилання.....	160
3. Технічні вимоги.....	161
4. Вимоги до сировинних матеріалів.....	163
5. Вимоги безпеки, охорони довкілля, утилізація.....	163
6. Правила приймання.....	164
7. Методи контролювання.....	164
8. Транспортування та зберігання.....	165
9. Гарантії виробника.....	165
Аркуш реєстрації змін.....	166

1. СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

Дані технічні умови поширюються на сухі будівельні суміші модифіковані для мурування, що виготовляються на основі багатокomпонентних портландцементів для будівельних розчинів. Суха будівельна суміш модифікована для мурування використовується у будівництві для облицювання зовнішніх стін будівель і споруд.

2. НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

В цих технічних умовах є посилання на такі нормативні документи:

ДБН А.3.2-2:2009	Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення
ДБН В.1.1-7:2002	Пожежна безпека об'єктів будівництва
ДБН В.1.4-1.01-97	Регламентовані радіаційні параметри. Допустимі рівні
ДБН В.1.4-2.01-97	Радіаційний контроль будівельних матеріалів та об'єктів будівництва
ДБН В.2.5-28:2006	Природне і штучне освітлення
ДБН Г.1-4-95	Правила перевезення, складування та зберігання матеріалів, виробів, конструкцій і устаткування в будівництві
ДСТУ 2296-93	Система сертифікації УкрСЕПРО. Знак відповідності. Форма, розміри, технічні вимоги та правила застосування
ДСТУ 3273-95	Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги
ДСТУ Б В.2.7-23-95	Розчини будівельні. Загальні технічні
ДСТУ Б В.2.7-42-97	Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів
ДСТУ Б В.2.7-112-	Цементи. Загальні технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-126:2011	Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-170:2008	Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності
ДСТУ Б В.2.7-171:2008	Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-185:2009	Цементи. Методи визначення нормальної густини, строків тужавлення і рівномірності зміни об'єму
ДСТУ Б В.2.7-187:2009	Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск
ДСТУ Б В.2.7-232:2010	Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань
ДСТУ Б В.2.7-239:2010	Розчини будівельні. Методи випробувань (EN 1015-11:1999, NEQ)
ДСТУ Б EN 413-1:2015	Цемент для мурування. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності
ДСТУ ГОСТ 12.4.041-2006	ССБП. Засоби індивідуального захисту органів дихання фільтрувальні. Загальні технічні вимоги

3. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1. Суха будівельна суміш модифікована для мурування повинна відповідати вимогам цих технічних умов і виготовлятися відповідно ДСТУ Б В.2.7-126:2011 та технологічної документації, затвердженої в установленому порядку.

3.2. Суха будівельна суміш модифікована для мурування повинна відповідати наступним вимогам:

3.2.1. При умовному позначенні сухої будівельної суміші модифікованої для мурування згідно ДСТУ Б В.2.7-126:2011 вказується номер даних технічних умов.

3.2.2. Вологість сумішей не повинна перевищувати 0,5 % за масою.

3.2.3. Водоутримувальна здатність розчинових сумішей, отриманих із застосуванням сухих будівельних сумішей модифікованих для мурування, не повинна бути менше 95 %.

3.2.4. Крупність заповнювача в суміші повинна становити не більше 1,25 мм.

3.2.5. Рухомість повинна становити не менше 8 см, а термін придатності розчинової суміші – не менше 60 хв.

3.2.6. Міцність зчеплення розчинів з основою в повітряно-сухих умовах повинна становити не менше 0,3 МПа.

3.2.7. Розчини повинні характеризуватись границею міцності на стиск через 28 діб не менше 5,0 МПа.

3.2.8. Морозостійкість повинна становити не менше 50 циклів поперемінного заморожування та відтавання.

3.2.9. За зовнішнім виглядом суміш повинна являти собою однорідний за кольором порошок, який не має видимих неозброєним оком сторонніх включень. Колір розчину, якщо це вказано в замовленні, повинен відповідати кольору зразка, затвердженому виробником у встановленому порядку.

3.2.10. Матеріали, які входять до складу сумішей, повинні відповідати за своїми властивостями вимогам нормативних документів, зазначеним у рецептурі, та бути дозволеними до використання Центральним органом виконавчої влади у сфері охорони здоров'я.

3.2.11. Умовне позначення сухої будівельної суміші модифікованої для мурування:

«Суха будівельна суміш модифікована для мурування

ТУ У 23.5-02071010-175:2018 ЦВ.1.МР1»

4. ВИМОГИ ДО СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1. Для виготовлення сухих будівельних сумішей модифікованих для мурування використовуються сировинні матеріали – цемент для мурування МС 22,5 (EN 413-1), добавки пластифікуюче-повітровтягувальної дії (ДСТУ Б В.2.7-171:2008), кварцовий пісок (ДСТУ Б В.2.7-131:2007).

4.2. Допускається використання інших подібних сировинних матеріалів, які відповідають вимогам чинних в Україні нормативних документів.

4.3. Ефективна сумарна питома активність природних радіонуклідів у сировинних матеріалах, що застосовуються, не повинна перевищувати 370 Бк/кг (1 клас використання) згідно ДБН Б.1.4-1.01.

4.4. Сировинні матеріали повинні бути дозволені до використання центральним органом виконавчої влади України в сфері охорони здоров'я і відповідати документам про якість.

5. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ, ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ, УТИЛІЗАЦІЯ

5.1. Суміші не забруднюють довкілля під час виробництва і застосування за умови виконання вимог даного стандарту до охорони довкілля.

5.2. Умови приймання і зберігання вихідних матеріалів для виготовлення сумішей і їх пакувальних засобів (відповідно до ГОСТ 12.3.002 - в окремих спеціально оснащених місцях) не повинні спричиняти забруднення води, ґрунту і повітря.

5.3. Для дотримання встановлених норм гранично допустимих викидів шкідливих речовин в атмосферу підприємство-виробник сумішей повинно бути оснащене пиловловлювальним обладнанням згідно ГОСТ 25757. Допускається використання інших видів такого устаткування за узгодженням з місцевими санітарно-епідеміологічними службами.

5.4. Виробництво сухих будівельних сумішей модифікованих для мурування необхідно здійснити з виконанням вимог ДСТУ 3273 та Закону України «Про охорону праці».

5.5. Виготовлення сумішей має бути максимально безвідходним виробництвом. У разі виявлення відхилень показників якості суміші від нормованих вона направляється на доробку в умовах замкнутої технологічної схеми.

5.6. При виробництві сухих будівельних сумішей модифікованих для мурування відходи, придатні до повторної переробки, повертаються в

технологічний цикл.

6. ПРАВИЛА ПРИЙМАННЯ

6.1. Приймально-здавальні випробування та оцінювання якості сухих будівельних сумішей модифікованих для мурування здійснюють відповідно до ДСТУ Б В.2.7-126:2011.

6.2. Контроль радіаційної активності сумішей проводять відповідно до вимог ДБН В.1.4-2.01 раз на рік, а також у випадку зміни вихідних матеріалів.

6.3. Сертифікаційні випробування сухих будівельних сумішей модифікованих для мурування проводять згідно ДСТУ 2296-93 та ДСТУ Б В.2.7-126:2011.

7. МЕТОДИ КОНТРОЛЮВАННЯ

7.1. Контроль якості сухих будівельних сумішей модифікованих для мурування проводять згідно з ДСТУ Б В.2.7-126:2011.

7.2. Вологість та зерновий склад заповнювача сумішей визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-232.

7.3. Рухомість, водоутримувальну здатність розчинових сумішей визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-239.

7.4. Середню густину розчинів визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-239.

7.5. Вміст повітряних пор у розчинах визначають за методикою ДСТУ Б В.2.7-170 та ДСТУ Б В.2.7-126:2011.

7.6. Зовнішній вигляд суміші визначають візуально. Наважку сухої суміші масою 10 г розмішують на скляну пластинку і розрівнюють шпателем шаром до найбільшої крупності частинок, але не менше 1 мм. Суміш повинна бути однорідною за кольором і не містити сторонніх включень, які видно неозброєним оком.

8. ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ

8.1. Транспортування і зберігання сумішей виконують згідно з ДСТУ Б В.2.7-112.

8.2. Суміші транспортують усіма видами критого транспорту згідно з правилами перевезення вантажів, які діють на даному виді транспорту, з урахуванням вимог ДБН Г.1-4.

8.3. Способи транспортування повинні забезпечувати цілісність тари, виключення зволоження та порушення однорідності сумішей, а також дії прямих сонячних променів.

9. ГАРАНТІЇ ВИРОБНИКА

9.1. Виробник гарантує відповідність якості сумішей вимогам даних технічних умов, за умови виконання вимог транспортування і зберігання.

9.2. Гарантійний термін зберігання сумішей – не менше 12 місяців з дня виготовлення.

Додаток Д

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
 Директор ТзОВ “Завод “Полімербудпром”
 І.Ю. Балагурак
 “19” червня 2017 р.



А К Т

про виготовлення дослідної партії суміші сухої будівельної модифікованої МР1 на основі цементу для мурування EN 413-1 МС 22,5

Нами, представником ТзОВ “Завод “Полімербудпром” інженером Котівом М.В. та представниками Національного університету “Львівська політехніка” д.т.н., професором Саницьким М.А., к.т.н., доцентом Кропивницькою Т.П. та аспірантом Семенів Р.М. складено цей акт про те, що в червні 2017 р. виготовлено дослідну партію суміші сухої будівельної модифікованої на основі спеціального цементу для мурування EN 413-1 МС 22,5 ПрАТ «Івано-Франківськцемент» в кількості 10 тонн.

Суміш суху будівельну модифіковану виготовляли методом змішування сировинних матеріалів – цемент для мурування МС 22,5 (витрата 345 кг/м³), добавка пластифікуюче-повітровтягувальної дії Master Air 81, кварцовий пісок Рогатинського родовища (Мк = 1,1).

Розчин на основі суміші сухої будівельної модифікованої МР1 характеризується маркою за рухомістю П8 (глибина занурення еталонного конуса 7,9 см), середньою густиною суміші $\rho_{\text{сер}} = 1818 \text{ кг/м}^3$, терміном придатності - 3,5 год з моменту приготування та маркою за міцністю на стиск М100. Основні показники якості розчину з використанням суміші сухої будівельної модифікованої МР1 наведені в табл. 1. Розчин на основі суміші сухої будівельної модифікованої МР1 характеризуються покращеною легковкладальністю, однорідністю, подовженим терміном придатності при запроектованій марці за міцністю будівельного розчину, а також забезпечує якість цегляної кладки та стійкість до висолоутворення.

Таблиця 1

Показники якості розчину на основі суміші сухої будівельної
модифікованої МРІ

Назва показника	Одиниці вимірювання	Значення показника
Суміш		
Крупність заповнювача (не більше 2 мм)	мм	1,25
Розчинова суміш		
Рухомість	см	8,0
Термін придатності, Ж	хв	210
Вміст повітря, А	%	13
Консистенція	см	2,9
Середня густина ρ_c	кг/м ³	1818
Розшаровуваність, П	%	0,8
Водоутримувальна здатність, V	%	98,02
Розчин		
Міцність на стиск розчину, R_c	МПа	10,8
Коефіцієнт розм'якшення, K_r	-	0,96
Модуль пружності, E	ГПа	13,05
Призмova міцність, $R_{пр}$	МПа	9,0
Коефіцієнт Пуасона, ν	-	0,17
Пористість розчину, П	%	32,09
Міцність зчеплення з основою після витримання в повітряно-сухих умовах	МПа	0,2
Морозостійкість, F	цикли	75
Висолоутворення	-	немає

Представник ТзОВ "Завод "Полімербудпром"

Інженер



Котів М.В.

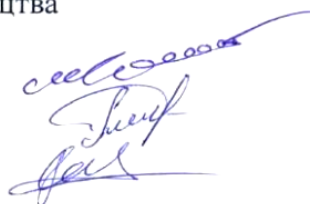
Представники Національного університету "Львівська політехніка":

Зав. кафедри будівельного виробництва

д.т.н., професор

к.т.н., доцент

аспірант



Саницький М.А.

Кропивницька Т.П.

Семенів Р.М.

Додаток Е

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Головний інженер

ТзОВ “Підгасцька будівельна компанія”



Шевчук І. Л.

2016 р.

АКТ

про впровадження цементу для мурування з повітровтягувальною добавкою
МС 22,5 ПрАТ «Івано-Франківськцемент»
для приготування будівельних розчинів

Ми, що нижче підписалися, представники ТзОВ «Підгасцька будівельна компанія» виконроб Рудик О.М. та представники Національного університету “Львівська політехніка” д.т.н., професор Саницький М.А., к.т.н., доцент Кропивницька Т.П., аспірант Семенів Р.М. склали даний акт про те, що в період з 27 червня 2016 р. по 28 грудня 2016 р. при проведенні мурування стін будинків малоповерхової житлової забудови (с. Бірки) використано цемент для мурування з повітровтягувальною добавкою МС 22,5 ДСТУ Б EN 413-1:2015 ПрАТ «Івано-Франківськцемент» у кількості 70 т.

Розчинова суміш виготовлялась на будівельному майданчику і характеризувалась маркою за рухомістю П8 (глибина занурення конуса від 5 до 8 см), зберігала необхідну марку за рухомістю і не розшаровувалась протягом 4,0 год з моменту її приготування. Будівельні розчини для мурувальних робіт також застосовувались взимку при понижених додатних та від’ємних температурах (до - 10 °С). З метою прискорення тверднення мурувального розчину та усунення негативних явищ, пов’язаних з фазовими переходами води в умовах знакозмінних та від’ємних температур, при виготовленні мурувальних розчинів вводилась протиморозна добавка - форміат кальцію.

У випробувальній лабораторії будівельних матеріалів і виробів (ВЛБМВ) НУ «Львівська політехніка» (свідоцтво про атестацію № РЛ 099/13) було визначено нормативні показники якості модифікованих будівельних розчинів згідно ДСТУ Б В.2.7-237:2010. Результати випробувань будівельних розчинів на основі модифікованого цементу для мурування МС 22,5 наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники якості модифікованих будівельних розчинів на основі цементу для мурування МС 22,5 ПрАТ «Івано-Франківськцемент»

Показник	Одиниці вимірювання	Значення		
		нормативне	фактичне (марка М50)	фактичне (марка М100)
Середня густина розчинової суміші	кг/м ³	не менше 1500	1850	1870
Розшарування	%	не більше 10	1,9	1,7
Розплив конуса	мм	-	190	205
Рухливість	см	П8 (5-8 см)	6,5	7,5
Водоутримувальна здатність	%	не менше 75	-	97,7
Міцність на стиск через 28 діб - нормальні умови тверднення	МПа	не менше 5 не менше 10	5,4	10,3
- понижені додатні температури (0...+15 ⁰ С)	МПа	-	-	8,4

При використанні цементу для мурування з повітровтягувальною добавкою МС 22,5 забезпечується висока пластичність та якість розчинової сумішей без розшарування. Завдяки аерації покращується легкоукладальність розчинової сумішей, внаслідок чого обмежується утворення усадочних тріщин, а також забезпечується стійкість до дії атмосферних опадів та багаторазових циклів заморожування та відтавання. Цемент для мурування з повітровтягувальною добавкою МС 22,5 забезпечує високу працездатність розчину, зокрема кладки, завдяки чому прискорюються темпи будівництва, знижуються виконавчі та матеріальні витрати, що виникають при мурувальних роботах.

Акт підписали:

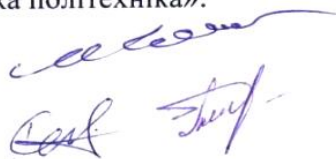
Виконроб
ТзОВ «Підгаєцька будівельна компанія»



Рудик О.М.

Представники НУ «Львівська політехніка»:

д.т.н., професор
к.т.н., доцент
аспірант



Саницький М.А.
Кропивницька Т.П.
Семенів Р.М.

Додаток Є

Локальний кошторис на будівельні роботи № 1-1-1
на Готування будівельного розчину на основі модифікованого низькоемісійного цементу МС 22,5
Модифікування керамічної цегли та будівельного розчину зовнішніх стін будівель та споруд для підвищення їх експлуатаційної надійності

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 1,58626 тис. грн.
 Кошторисна трудомісткість 0,00399 тис.люд.-год.
 Кошторисна заробітна плата 0,07931 тис. грн.
 Середній розряд робіт 2,0 розряд

Складений в поточних цінах станом на "20 липня" 2018 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
						на одиницю	всього				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	PH20-17-18	Готування кладкових цементних розчинів, марка 100	100м3	0,01	<u>6742,72</u> 5533,12	<u>1209,60</u> 927,77	67,43	55,33	<u>12,1</u> 9,28	<u>308,94</u> 47,1975	<u>3,09</u> 0,47
	& С111-130512	МС 22,5 з повітровтягувальною добавкою	т	0,38	<u>2000,00</u>	-	760	-	-	-	-
	& С1421-95521	Пісок природний, збагачений	кг	1420	<u>0,50</u>	-	710	-	-	-	-
	С142-10-2	Вода	м3	0,31	<u>19,03</u>	-	5,9	-	-	-	-
		Разом прямі витрати по кошторису					1543,33	55,33	<u>12,1</u> 9,28		<u>3,09</u> 0,47
		Разом будівельні роботи, грн.					1543,33				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					1475,9				
		всього заробітна плата, грн.					64,61				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		Загальновиробничі витрати, грн. трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. Всього будівельні роботи, грн. ----- Всього по кошторису					42,93 0,43 14,7 1586,26 1586,26					
		Кошторисна трудоємність, люд.год. Кошторисна заробітна плата, грн.					3,99 79,31					

Локальний кошторис на будівельні роботи № 1-1-2
на Готування будівельного розчину на основі цементу ПЦ ІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н
Модифікування керамічної цегли та будівельного розчину зовнішніх стін будівель та споруд для підвищення їх експлуатаційної надійності

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 1,74088 тис. грн.
Кошторисна трудоємність 0,00399 тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата 0,07931 тис. грн.
Середній розряд робіт 2,0 розряд

Складений в поточних цінах станом на "20 липня" 2018 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	PH20-17-18	Готування кладкових цементних розчинів, марка 100	100м3	0,01	61106,81 5533,12	1209,60 927,77	611,07	55,33	12,1 9,28	308,94 47,1975	3,09 0,47
	C111-1324 варіант 1 & C111- 25311 C142-10-2	ПЦ ІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н Вапно будівельне Вода	т т м3	0,3 0,06 0,33	2490,00 - 5560,00 - 19,03 -	- - - - -	747 333,6 6,28	- - -	- - -	- - -	- - -

1	2	3	4	5	6	7	8
		Разом прямі витрати по кошторису	1697,95	55,33	<u>12,1</u> 9,28		<u>3,09</u> 0,47
		Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн.	1697,95 1630,52 64,61				
		Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. Всього будівельні роботи, грн.	42,93 0,43 14,7 1740,88				
		----- Всього по кошторису	1740,88				
		Кошторисна трудомісткість, люд.год. Кошторисна заробітна плата, грн.	3,99 79,31				

Склав

_____ *[посада, підпис (ініціали, прізвище)]*

Перевірив

_____ *[посада, підпис (ініціали, прізвище)]*

Додаток Ж

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
(назва організації)

Випробувальна лабораторія будівельних матеріалів і виробів

ЗАТВЕРДЖЕНО
Проректор з наукової роботи
Національного університету
“Львівська політехніка”



Н.І. Чухрай
06. 2017 р.

ПРОТОКОЛ № 1/2017

за результатами контрольних випробувань

будівельних розчинів на основі спеціального цементу ЦБР 300

ПАТ «Івано-Франківськцемент»

(найменування виробу, його марки та хто виготовив)

Виконавець: Випробувальна лабораторія будівельних матеріалів

(назва випробувальної лабораторії)

і виробів (ВЛБМВ) Національного університету “Львівська політехніка”

Свідоцтво про атестацію № РЛ 099/13, надане ДП «Львівський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації» 13 червня 2013 р.

Замовник: ТзОВ «ВЕСТБЕТОНБУД»

(назва організації)

згідно договору № 641 від 10 травня 2017 р. (Заявка № 2)

1. Мета випробувань:

Випробування розчинових сумішей та будівельних розчинів на відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-23-95 щодо основних показників якості (п.п. 4.1.4) - марки за рухомістю (п.п. 4.1.5), марки за міцністю (п.п. 4.1.6) та середньої густини (п.п. 4.1.9).

2. Відбір проб розчинової суміші проводився з місця будови при проведенні мурувальних робіт.

3. Підстава для проведення робіт: договір між ТзОВ «ВЕСТБЕТОНБУД» та Національним університетом „Львівська політехніка”.

4. Випробування проводились згідно з такими документами: _____

ДСТУ Б В.2.7-239:2010 (EN 1015-11:1999, NEQ).
(стандарти, технічні умови, проектна документація, стандартизовані методики) .

5. Типи та основні характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та випробувального обладнання:

Таблиця 1

Характеристика засобів вимірювальної техніки (ЗВТ)

Найменування	Тип, марка, позначення	Основні метрологічні характеристики ЗВТ
Лінійка вимірювальна металева	ЛВМ-500	500 мм, $\Delta = \pm 1$ мм
Штангенциркуль	ШЦ -1	160 мм, $\Delta = \pm 0,1$ мм
Вага лабораторна електронна	WLC 20/C/1	20 кг, $\Delta = \pm 0,005$ кг
Прес гідравлічний	П-50	500 кН, $\delta = \pm 0,1$ %

6. Результати випробувань:

Таблиця 2

Показники будівельних розчинів на основі цементу ЦБР 300

ПАТ «Івано-Франківськцемент»

Дата виготовлення	Проектна марка за міцністю на стиск	Рухомість, см	Повітровтягування, %	Середня густина розчинової суміші, кг/м ³	Руйнівне навантаження через 28 діб, кгс	Границя міцності на стиск через 28 діб, МПа	Фактичні показники	
					28	28	Марка міцності на стиск	Марка за рухомістю
ТзОВ „ВЕСТБЕТОНБУД”								
16.05.16	M100	9,0	11	1835	2840 2780 2770 2800	11,2	M100	П12
15.09.16	M75	7,0	9	1820	1870 1880 1890 1895	7,53	M75	П8
22.09.16	M75	8,0	-	1802	1870 1890 1890 1900	7,55	M75	П8
ТзОВ «Підгаєцька будівельна компанія»								
04.07.2016	M50	6,5	13	1750	1350 1335 1340 1360	5,4	M50	П8
07.02.2017	M75	7,5	-	1910	2120 2100 2170 2160	8,5	M75	П8

Висновок:

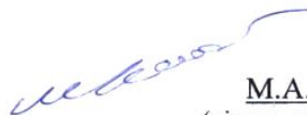
1. Будівельний розчин для мурувальних робіт на основі спеціального цементу ЦБР 300, модифікований добавками повітровтягувальної дії, що виготовлений ТзОВ „ВЕСТБЕТОНБУД” відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-23-95 щодо середньої густини (не менше 1500 кг/м³) будівельного розчину.

Використання спеціального цементу ЦБР 300 ПАТ «Івано-Франківськцемент» забезпечує одержання будівельних розчинів проектної марки за міцністю М100, М75.

2. Будівельний розчин для мурувальних робіт на основі спеціального цементу ЦБР 300, модифікований добавками пластифікуюче-повітров'язувальної дії, що виготовлений ТзОВ «Підгаєцька будівельна компанія» відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-23-95 щодо середньої густини будівельного розчину. Використання цементу ЦБР 300 ПАТ «Івано-Франківськцемент» з модифікаторами забезпечує одержання будівельних розчинів марки за міцністю М25, М50, М75. При цьому досягається висока пластичність та якість розчинових сумішей без розшарування, що дозволяє виключити вапно з їх складу.

Керівник ВЛБМВ

д.т.н., професор



М.А. Саницький
(підпис, прізвище та ініціали)

Відповідальний виконавець

к.т.н., доцент



Т.П. Кропивницька
(підпис, прізвище та ініціали)

Виконавці:

Аспірант



Р.М. Семенів
(підпис, прізвище та ініціали)

інженер I к.



Ю.Б. Бобецький
(підпис, прізвище та ініціали)

ПРИМІТКИ:

1. Даний протокол № 1/2017 містить чотири сторінки, стосується тільки проб та зразків, які випробувались.

Додаток 3

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
(назва організації)

Випробувальна лабораторія будівельних матеріалів і виробів



ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з наукової роботи
Національного університету
“Львівська політехніка”

Н.І. Чухрай

“ 05 ” 06, 2018 р.

ПРОТОКОЛ № 1/2018
за результатами контрольних випробувань

будівельних розчинів для кладки з цегли керамічної
(найменування виробу, його марки та хто виготовив)

Виконавець: випробувальна лабораторія будівельних матеріалів
(назва випробувальної лабораторії)
і виробів Національного університету “Львівська політехніка”
(ВЛБМВ)

свідцтво про атестацію № РЛ 099/13, надане ДП «Львівський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації» 13 червня 2013 р.

Замовник: ТзОВ “ВЕСТЬБЕТОНБУД”
(назва організації)

Згідно договору № 827 від 29.01.2018 р. (Заявка № 2)

1. Мета випробувань:

Випробування розчинових сумішей та будівельних розчинів на відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-23-95 щодо основних показників якості (п.п. 4.1.4) - марки за рухомістю (п.п. 4.1.5, додаток Б), марки за міцністю на стиск (п.п. 4.1.6) та середньої густини (п.п. 4.1.9).

2. Відбір проб розчинової суміші проводився з місця будови (с. Братковичі та Борщовичі) при проведенні кладки стін.

3. Підстава для проведення робіт: договір між ТзОВ „ВЕСТИБЕТОНБУД” та НУ „Львівська політехніка”

4. Випробування проводились згідно з такими документами: _____
ДСТУ Б В.2.7-239:2010 (EN 1015-11:1999, NEQ).
 (стандарти, технічні умови, проектна документація, стандартизовані методики)

5. Типи та основні характеристики засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та випробувального обладнання:

Таблиця 1

Характеристика засобів вимірювальної техніки (ЗВТ)

Найменування	Тип, марка позначення	Основні метрологічні характеристики ЗВТ
Лінійка вимірювальна металева	ЛВМ-500	500 мм, $\Delta = \pm 1$ мм
Штангенциркуль	ШЦ -1	160 мм, $\Delta = \pm 0,1$ мм
Вага лабораторна електронна	WLC 20/C/1	20 кг, $\Delta = \pm 0,005$ кг
Прес гідравлічний	П-50	500 кН, $\delta = \pm 0,1$ %

6. Результати випробувань:

Таблиця 2

Показники якості будівельних розчинів

Дата виготовлення	Назва елементу	Проектна марка міцності на стиск	Рухомість, см	Середня густина розчинової суміші, кг/м ³	Границя міцності на стиск, МПа, у віці, діб		Фактичні показники	
					7	28	Марка міцності на стиск	Марка за рухомістю
с. Братковичі								
16.03.18	Кладка стін 1-го поверху	M75	8,1	1805	3,76	7,87	M75	П8
25.04.18	Кладка стін 1-го поверху	M75	7,8	1818	4,02	8,11	M75	П8
с. Борщовичі								
16.04.2018	Кладка стін 1-го поверху на відмітці 0	M50	8,0	1800	2,22	5,37	M50	П8
03.05.2018	Кладка стін 1-го поверху	M50	7,9	1821	2,58	5,66	M50	П8

Висновок:

1. Розчинова суміш для кладки з цегли керамічної від 16.03.18 і 25.04.18 (с. Братковичі) та від 16.04.18 і 03.05.18 (с. Борщовичі) відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-23-95 (Додаток Б) щодо марки за рухомістю П8.

2. Будівельний розчин для кладки з цегли керамічної від 16.03.18 і 25.04.18 (с. Братковичі) та від 16.04.18 і 03.05.18 (с. Борщовичі) відповідає вимогам ДСТУ Б В. 2.7-23-95 (п.п. 4.1.9) щодо середньої густини будівельного розчину (не менше 1500 кг/м³).

3. Будівельний розчин для кладки з цегли керамічної від 16.03.18 і 25.04.18 (с. Братковичі) відповідає проектній марці за міцністю на стиск (М75), а зразки виготовлені від 16.04.18 і 03.05.18 (с. Борщовичі) відповідає проектній марці за міцністю на стиск (М50).

Керівник ВЛБМВ
д.т.н., професор



М.А. Саницький
(підпис, прізвище та ініціали)

Відповідальний виконавець
к.т.н., доцент



Т.П. Кропивницька
(підпис, прізвище та ініціали)

Виконавець
аспірант 3 р. навч.



Р.М. Семенів
(підпис, прізвище та ініціали)

Виконавець
інженер I к.



Ю.Б. Бобецький
(підпис, прізвище та ініціали)

ПРИМІТКИ:

Даний протокол №1/2018 містить чотири сторінки, стосується тільки проб та зразків, які випробувались.

Додаток И

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор

з науково-педагогічної роботи

НУ «Львівська політехніка»

Давидчак О. Р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи Семенів Р. М.
на тему «Модифікування керамічної цегли та будівельного розчину зовнішніх
стін будівель та споруд для підвищення їх експлуатаційної надійності»

Нами, головою науково-методичної комісії спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», к.т.н., доцентом Холодом П. Ф., завідувачем кафедри будівельного виробництва, д.т.н., професором Саницьким М. А. складено даний акт про те, що результати дисертаційної роботи Семенів Р. М. впроваджені в навчальний процес на кафедрі будівельного виробництва, зокрема в курсах «Сучасні будівельні матеріали та методи досліджень» (розділ «Будівельні розчини на основі нових низькоемісійних цементів») та «Наукові дослідження у будівництві» (розділ «Підвищення довговічності цегляної кладки»), що викладається для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», використовуються результати дисертаційної роботи щодо модифікування гідрофобізуючими речовинами поверхні керамічної цегли та хімічними добавками пластифікуюче-повітровтягувальної дії будівельних розчинів на основі цементів з пониженим клінкер-фактором, що дозволяє підвищити експлуатаційну надійність цегляної кладки зовнішніх стін будівель і споруд.

Голова науково-методичної комісії
спеціальності 192 «Будівництво та
цивільна інженерія», к.т.н., доцент

Холод П. Ф.

Завідувач кафедри будівельного
виробництва д.т.н., професор

Саницький М. А.

Додаток I

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА:

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 багатокомпонентні цементи 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 / T. Kropyvnytska, R. Semeniv, M. Chekaylo, A. Kaminskyu // 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.

ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні результати і положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на: III Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні тенденції розвитку і виробництва силікатних матеріалів» (Львів, 2016 р.), Міжнародній науково-технічній конференції V наукові читання імені академіка НАНУ А.С. Бережного «Фізико-хімічні проблеми в технології тугоплавких і неметалевих матеріалів» (Харків, 2016 р.), VI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2017 р.), Міжнародній конференції «World Sustainable Energy Days» (Вельс, Австрія, 2018р.), Міжнародній конференції «Структурування, міцність та руйнування композиційних матеріалів і конструкцій» (Одеса, 2018 р.), VII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2018 р.).