

Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет будівництва і архітектури

Киричок Володимир Іванович

УДК 691.57

ЛУЖНІ АЛЮМОСИЛКАТНІ ЗВ'ЯЗУЮЧІ З ПІДВИЩЕНОЮ  
СУЛЬФАТОСТІЙКІСТЮ ТА ПОКРИТТЯ НА ЇХ ОСНОВІ ДЛЯ ЗАХИСТУ  
БЕТОНУ

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в науково-дослідному інституті в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського та на кафедрі будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
Кривенко Павло Васильович,  
Київський національний університет будівництва і  
і архітектури, науково-дослідний інститут в'язучих  
речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського  
директор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Шабанова Галина Миколаївна  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри технології кераміки, вогнетривів,  
скла та емалей;

кандидат технічних наук,  
Гончар Вадим Петрович  
ТОВ «ПРОТОН-23»,  
хімік відділу ЕМВЯМ.

Захист відбудеться 06 червня 2018р. о 15<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.056.05 Київського національного університету будівництва і архітектури, 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31 та на сайті університету knuba.edu.ua.

Автореферат розісланий « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

М.В. Суханевич

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Довговічність матеріалів є однією з найголовніших вимог сучасного будівельного виробництва, з огляду на постійно зростаюче використання сировинних та енергетичних ресурсів Землі та пов'язане з ним забруднення навколишнього середовища. Бетон, як довговічний конструктивний матеріал, давно довів свою ефективність використання при будівництві цивільних та промислових споруд. Проте, використання бетону на основі традиційних цементів при наявності у експлуатаційному середовищі агресивних речовин та сполук є досить обмеженим, це пов'язано з тим, що штучний камінь вступає з ними у взаємодію, що призводить до його руйнування.

При впливі агресивних середовищ на бетон, корозійні процеси відбуваються завжди на розділі фаз «агресивне середовище-бетон», тобто на бетонній поверхні. Після нейтралізації чи руйнування першого шару бетону, агресивні речовини проникають все глибше, допоки не відбувається повне руйнування структури бетону. Тому, для підвищення довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій необхідно забезпечувати захист їх бетонної поверхні від агресивного впливу навколишнього середовища. Основною вимогою до створення даного захисту являється його довговічність та корозійна стійкість.

Теоретичними передумовами дослідження є роботи Глуховського В.Д., Кривенка П.В., Петропавловського О.М., Руденка І.І., Пушкарьової К.К., Гончарова В.В., Мироненка А.В., Бродко О.А., Гончарова М.М., у яких доведена можливість отримання штучного каменю на основі лужних в'язучих речовин з високими експлуатаційними характеристиками та корозійною стійкістю у агресивних середовищах, завдяки фазовому складу гідратних новоутворень. У роботах Скручинської Ж.В., Ракші В.А., Ростовської Г.С., Рунової Р.Ф., Румини Г.В., Пушкарьової К.К., Ковальчука О.Ю. досліджено процеси структуроутворення лужних в'язучих речовин, розраховані та проаналізовані термодинамічні моделі формування складу гідратних новоутворень штучного каменю залежно від якісного та фазового складу їх сировинних компонентів.

Проблемам використання лужних алюмосилікатних в'язучих систем для отримання матеріалів зі спеціальними властивостями присвячуються роботи Мохорта М.А., Суханевич М.В., Гончара В.П., Ковальчука Г.Ю., Гузія С.Г., Ковальчука О.Ю., Вознюка Г.В., де підкреслюється необхідність забезпечення умов та управління процесами структуроутворення лужних алюмосилікатних зв'язуючих для отримання спеціальних властивостей штучного каменю та його високих експлуатаційних характеристик.

Створення покриттів для захисту бетону від дії агресивних сульфатних середовищ на основі лужних алюмосилікатних зв'язуючих потребує дослідження особливостей структуроутворення модифікованих зв'язуючих з врахуванням впливу температури тверднення, співвідношення основних

оксидів, хімічних модифікаторів на фазовий склад та корозійну стійкість штучного каменю, а також впливу функціональних наповнювачів, органічних добавок, армуючих компонентів на технологічні властивості розчинової суміші та формування структури розчину з метою отримання покриття для захисту бетону від корозії. Вирішенню цих питань присвячується дисертаційна робота, яка є актуальною, виходячи з наведеного обґрунтування.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась відповідно до держбюджетної теми Міністерства освіти і науки України № 1ДБ-2015 “Фізико-хімічні основи створення геоцементів і покриттів на їх основі для захисту бетону від корозії” (Наказ Міністерства освіти і науки України № 1243 від 31.10.2014 р., № державної реєстрації 0115U000332, 2015-2017 рр.). У зазначеній роботі автор виконував обов'язки відповідального виконавця.

**Мета роботи і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка фізико-хімічних основ отримання на основі лужних алюмосилікатних зв'язуючих покриттів для захисту бетону від дії сульфатних агресивних середовищ з забезпеченням їх технологічних та експлуатаційних властивостей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вивчити вплив співвідношення основних оксидів та температури тверднення лужних алюмосилікатних зв'язуючих на їх структуроутворення, фазовий склад та властивості штучного каменю;
- визначити вплив хімічних модифікаторів на процеси структуроутворення лужних алюмосилікатних зв'язуючих і фазовий склад штучного каменю з метою їх прискорення та забезпечення сульфатостійкості;
- встановити вплив функціональних наповнювачів, органічних модифікаторів, армуючих компонентів на технологічні властивості розчинової суміші та формування структури захисних покриттів на основі модифікованого лужного алюмосилікатного зв'язуючого;
- розробити ефективні склади захисних покриттів для бетону на основі модифікованого лужного алюмосилікатного зв'язуючого за критеріями забезпечення їх технологічних та експлуатаційних властивостей;
- дослідити експлуатаційні властивості розроблених покриттів, а також встановити ефективність їх використання для захисту бетону від дії сульфатних агресивних середовищ;
- провести дослідно-промислове впровадження розроблених захисних покриттів та обґрунтувати їх техніко-економічну ефективність.

*Об'єктом досліджень* є направлене управління процесами структуроутворення лужних алюмосилікатних зв'язуючих з метою отримання покриттів на їх основі для захисту бетону від дії агресивних сульфатних середовищ.

*Предметом досліджень* є покриття на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого для захисту бетону від дії агресивних сульфатних середовищ.

*Методи досліджень.* Експериментальні результати отримано із застосуванням комплексу сучасних методів фізико-хімічного аналізу:

рентгенофазового (РФА), диференціально-термічного (ДТА), інфрачервоної спектроскопії (ІЧС) та растрової електронної мікроскопії (РЕМ). Визначення реологічних (розтічність та збереження її у часі), фізичних (водопоглинання, пористість), фізико-механічних та спеціальних (корозійна стійкість, морозостійкість) властивостей досліджуваних розчинових сумішей та захисних покриттів здійснювалось за стандартними методиками згідно з чинними нормативами. Розрахунки та оптимізацію складів лужних алюмосилікатних зв'язуючих та захисних покриттів на їх основі проведено із застосуванням експериментально-статистичних методів планування експерименту.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- теоретично обґрунтовано та експериментально доведено можливість отримання лужних алюмосилікатних зв'язуючих у системі  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ , які характеризуються необхідними для захисних покриттів властивостями; вивчено процеси їх структуроутворення та визначено оптимальний склад, який характеризується наступними співвідношеннями оксидів:  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=4,5$ ,  $\text{R}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=1,0$ ,  $\text{R}_2\text{O}=(0,8\text{Na}_2\text{O}+0,2\text{K}_2\text{O})$ , що забезпечує направлене формування корозійностійких цеолітоподібних новоутворень типу натрієвого та калієвого гейландиту, філіпситу у фазовому складі штучного каменю;
- вивчено вплив хімічних кальційвміщуючих модифікаторів на процеси структуроутворення лужних алюмосилікатних зв'язуючих та доведено можливість отримання при їх використанні сульфатостійких цеолітоподібних гідратних новоутворень та забезпечення експлуатаційних властивостей штучного каменю за умов нормальних температур;
- встановлено вплив модифікаторів різної хімічної природи та функціонального призначення на технологічні властивості розчинової суміші з метою формування ефективної структури захисних покриттів для бетону на основі лужних алюмосилікатних зв'язуючих;
- запропоновано комплексний метод визначення ефективності використання розроблених покриттів для захисту бетону від дії сульфатних агресивних середовищ шляхом вимірювання і порівняння фізичних параметрів захищених та незахищених зразків бетону (корозійна стійкість, глибина проникнення іонів сульфату та ін.) та проведення комп'ютерного моделювання щодо визначення впливу кожного з них.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- розроблено склади модифікованих лужних алюмосилікатних зв'язуючих, які здатні до структуроутворення за умов нормальних температур та характеризуються підвищеною сульфатостійкістю штучного каменю на їх основі, що забезпечується формуванням у його фазовому складі гідратних цеолітоподібних новоутворень типу гейландиту і філіпситу, а також розроблено ТУ У 23.5 - 02070909 – 001:2016 для їх виробництва;
- отримано на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого захисні покриття, технологічні властивості яких зберігаються протягом 90 хвилин та які здатні до формування структури при нормальних температурах, що

дозволяє рекомендувати їх використання при виконанні будівельних робіт щодо захисту бетону від дії сульфатних середовищ;

- проведено дослідно-промислове впровадження розроблених захисних покриттів при виконанні компанією ТОВ “Актив Технолоджи” будівельних робіт з реконструкції 111 корпусу Києво-Печерської Лаври (м. Київ, вул. Лаврська, 23) для захисту бетону загальною площею поверхні – 100 м<sup>2</sup>; виконано обстеження стану захисних покриттів та обґрунтована техніко-економічна ефективність їх використання.

**Особистий внесок здобувача** полягає у виконанні експериментальних досліджень, обробці отриманих результатів та впровадженні розроблених матеріалів у виробництво, що відображено у наукових працях:

- досліджено вплив температури та співвідношення основних оксидів на фізико-механічні характеристики штучного каменю [3, 9, 23];
- вивчено особливості процесів структуроутворення лужного алюмосилікатного зв'язуючого та вплив їх на фазовий склад та мікроструктуру штучного каменю [5, 15];
- доведено можливість модифікації лужних алюмосилікатних зв'язуючих кальційвміщуючими добавками різного складу та вплив їх на властивості штучного каменю та фазовий склад гідратних новоутворень [10, 16, 17];
- досліджено корозійну стійкість штучного каменю на основі модифікованого лужного алюмосилікатного зв'язуючого у сильноагресивних середовищах та визначено його оптимальний склад для забезпечення високих експлуатаційних характеристик [4, 12, 24, 27];
- встановлено оптимальне співвідношення наповнювачів для забезпечення реологічних властивостей розчинової суміші з метою формування міцної матриці та щільної структури покриття [13];
- виявлено можливість управління реологічними властивостями лужних алюмосилікатних зв'язуючих та розчинових сумішей покриттів на їх основі шляхом модифікації добавками різної природи [6, 7];
- запропоновано для підвищення тріщиностійкості покриттів на основі лужних алюмосилікатних зв'язуючих вводити до їх складу армуючі компоненти з метою дисперсного армування композиту [13, 14, 26];
- розроблено оптимальний склад захисного покриття для бетону на основі модифікованого лужного алюмосилікатного зв'язуючого, що характеризується високими захисними властивостями у сильноагресивних експлуатаційних середовищах [8];
- проаналізовано вплив різних видів агресивного середовища на корозійну стійкість бетону та можливості його захисту покриттями [11, 28, 29];
- виконано аналіз сумісної роботи захисного покриття з бетонною основою та мікроструктуру контактної зони «покриття-бетон» залежно від умов використання та експлуатації [1, 18, 20];
- встановлено технологічні особливості використання покриттів на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого для захисту бетону від дії агресивних експлуатаційних середовищ [20, 21, 25];

- досліджено довговічність та ефективність використання розробленого покриття на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого для захисту бетону від дії агресивних експлуатаційних середовищ [2, 19, 22];
- проведено випуск та впровадження дослідної партії розробленого покриття для захисту бетону від корозії на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого згідно розробленого ТУ У 23.5 - 02070909 – 001:2016 [30].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень були оприлюднені на міжнародних наукових конференціях: «CRRB international conference on rehabilitation and reconstruction of building» (2012, 2013 та 2014 р., Чехія, м. Брно), «International Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures» (2014 р., Польща, м. Вроцлав), «5-th Non-Traditional cement & Concrete» (2014 р., Чехія, м. Брно), «International Conference Binders and Materials» (2015 р., Чехія, м. Брно), «International scientific - practical conference of young scientists “BUILD-MASTER-CLASS”» (м. Київ, 2016 та 2017 р.); XXIV міжнародному симпозиумі «Sanace betonivuh konstrukci» (2014 р., Чехія, м. Брно); всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів “БудМайстерКлас”» (2015 р., Україна, м.Київ); 73 та 74 науково-практичних конференціях Київського національного університету будівництва та архітектури (2012, 2013 та 2014 р., Україна, м.Київ).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 30 наукових праць, з них: 5 публікацій у науково-періодичних виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази Scopus, 9 – у наукових фахових виданнях України, 3 – у періодичних наукових виданнях України, 9 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій, 3 – у матеріалах вітчизняних конференцій та нормативний документ ТУ У 23.5 - 02070909 – 001:2016 «Зв'язуючі алюмосилікатні лужні».

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 168 сторінках друкованого тексту основної частини, яка складається із вступу, п'яти розділів та висновків. Повний обсяг дисертації становить 210 сторінок і включає 84 рисунки, з них 7 рисунків на 7 окремих сторінках, 30 таблиць, список використаних джерел із 149 найменувань на 14 сторінках та 4 додатки на 8 сторінках.

## ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету досліджень, наукову новизну, практичне значення та основні задачі, що розв'язані в роботі.

**У першому розділі** наведено огляд стану наукових розробок за темою та визначено теоретичні передумови напрямку досліджень.

Аналіз проблеми забезпечення термінів експлуатації бетонних та залізобетонних конструкцій у агресивних середовищах, а також методів їх захисту, обумовлює інтерес до використання в якості захисту покриттів з

високими експлуатаційними характеристиками та довговічністю, що забезпечуються шляхом формування їх корозійностійкої структури.

Однією із ефективних в'язучих речовин, які були запропоновані науковою школою (НДІВМ ім. В.Д. Глуховського) та довели свою стійкість у різних агресивних середовищах є лужні алюмосилікатні зв'язуючі. Їх використання, завдяки гідратним новоутворенням, які є аналогами природніх мінералів – цеолітів та являються стійкими до впливу агресивних середовищ, дозволяє отримувати штучний камінь з підвищеною стійкістю та довговічністю.

Розробка покриттів для захисту бетону від дії агресивних сульфатних середовищ на основі лужних алюмосилікатних зв'язуючих потребує дослідження особливостей процесів їх структуроутворення з врахуванням впливу температури тверднення, співвідношення основних оксидів, хімічних модифікаторів на фазовий склад та корозійну стійкість штучного каменю на їх основі, а також впливу функціональних наповнювачів, органічних добавок, армуючих компонентів на технологічні властивості розчинової суміші та формування структури розчину з метою отримання покриття для захисту бетону від корозії.

Аналіз відомих досліджень у напрямку вивчення процесів структуроутворення лужних алюмосилікатних зв'язуючих систем дозволяють висунути *наукову гіпотезу* щодо можливості отримання на основі лужних алюмосилікатних зв'язуючих захисного покриття для бетону за рахунок направленої синтезу в структурі штучного каменю корозійностійких продуктів тверднення, які сприятимуть підвищенню його довговічності та ефективної сумісної роботи з бетонною основою.

У **другому розділі** наведено характеристики використаних сировинних матеріалів та методів досліджень.

У якості в'язучої речовини, призначеної для отримання корозійностійких покриттів, використали лужне алюмосилікатне зв'язуюче ТУ У 23.5 - 02070909 – 001:2016 загальною формулою  $(m\text{Na}_2\text{O}+n\text{K}_2\text{O})\cdot x\text{Al}_2\text{O}_3\cdot y\text{SiO}_2\cdot z\text{H}_2\text{O}$ . Для її отримання використовували метакаолін, помелений до питомої поверхні 800 м<sup>2</sup>/кг, і натрієве та калієве рідке скло з силікатним модулем  $M_c=2,8$  та густиною 1430 кг/м<sup>3</sup>. Для коригування складу лужного алюмосилікатного зв'язуючого по основним оксидам використовували розчини їдких лугів NaOH, KOH та аморфний мікрокремнезем, помелений до питомої поверхні 800 м<sup>2</sup>/кг.

У якості добавок-модифікаторів лужного алюмосилікатного зв'язуючого використовували гашене вапно пушонку у вигляді порошку питомої поверхні 400 м<sup>2</sup>/кг. Даний модифікатор використовували для забезпечення структуроутворення штучного каменю за умов нормальної температури.

В якості функціональних наповнювачів використовували річковий Дніпровський пісок фракцій 0,63...0,315 мм та 0,315...0 мм, а також золу винесення Ладижинської ТЕЦ фракції 0,16...0 мм.

Для модифікації покриття з метою покращення технологічних властивостей розчинової суміші використовували такі добавки: ефіри целюлози (WALOCCEL MK 400 PF, WALOCCEL MT 400 PFV, GABROSA HV TECH);



пластифікуючі добавки (сорбіт, ЛСТ, глюконат натрію та тринатрійфосфат).

Приготування розчинової суміші виконували за допомогою змішувачу НОВАРТ згідно ДСТУ Б В.2.7-126:2011 шляхом змішування рідкого та сухого компоненту покриття. Після чого проводили дослідження розтічності розчинової суміші згідно ДСТУ Б В.2.7-239:2010, наносили на бетонну основу (С30/35) та формували зразки 40x40 і 40x40x160 мм згідно ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Після тверднення зразків покриття визначали їх середню густину, випробовували на міцність при стиску і згині, та визначали їх водопоглинання ДСТУ Б В.2.6-181:2011. Нанесені покриття тверділи протягом 28 діб після чого були проведені випробування визначення адгезійної міцності зчеплення покриття з бетонною основою згідно ДСТУ Б ГОСТ 28574:2011.

Для визначення ефективності використання захисних покриттів їх також наносили на бетонні балочки 40x40x160мм, які були приготовлені з цементно-піщаної суміші на основі ПЦ І-500 з складом 1:3 та В/Ц=0.5. Покриття наносили після 28 діб тверднення бетонних зразків, потім витримували для структуроутворення покриттів ще 28 діб за умов  $t=20\pm 2^{\circ}\text{C}$  та  $W=60\pm 5\%$ . Після чого їх опускали в агресивні водні розчини сульфатів натрію, магнію та амонію з концентрацією в перерахунку на  $\text{SO}_4^{2-}$  – 30 000 мг/л, та питну воду згідно ДСТУ Б ГОСТ 27677:2011. Витримування зразків відбувалось протягом 1 року з випробуваннями зразків на міцність при згині, які паралельно знаходились в агресивних розчинах та питній воді, на: 90, 180, 270, 360 добу.

Вивчення особливостей процесів структуроутворення лужних алюмосилікатних зв'язуючих проводили з використанням рентгенофазового, диференційно-термічного методів аналізу та електронної мікроскопії. Макроструктуру покриттів досліджували за допомогою цифрового мікроскопу Dino-Lite Pro-AM413T5 із камерою 1,3 Мп при цифровому збільшенні x500.

**У третьому розділі** наведено результати досліджень впливу температури тверднення, співвідношення основних оксидів та хімічної модифікації лужних алюмосилікатних зв'язуючих на процеси їх структуроутворення з метою отримання корозійностійкого штучного каменю, що забезпечується наявністю у його фазовому складі гідратних цеолітоподібних новоутворень типу гейландиту, філіписту, жисмондіну та томпсоніту.

При проведенні досліджень в якості лужного алюмосилікатного зв'язуючого була визначена модельна система  $\text{R}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ , що забезпечує взаємодію оксидів. При мольному співвідношенні  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2\div 7$  та  $\text{R}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=1$  лужних алюмосилікатних зв'язуючих у складі штучного каменю отримують цеолітоподібні новоутворення, що характеризуються підвищеною стійкістю до дії агресивних середовищ. Тому було обрано дослідити вплив температури початкового тверднення, співвідношення  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  та введення суміжної суміші лужних оксидів  $\text{R}_2\text{O}=(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  на структуроутворення, фізико-механічні властивості штучного каменю. Для підвищення достовірності та відповідності результатів експерименту його було розділено на 2 частини  $\text{R}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot(2\div 4)\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{R}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot(5\div 7)\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$  з введенням оксидів калію  $\text{K}_2\text{O}=0\div 0,3$  та натрію  $\text{Na}_2\text{O}=0,7\div 1$  при  $\text{R}_2\text{O}=(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3=1$

відповідно. Температура початкового тверднення становила 20°C, 40°C, 60°C та 80°C, яка сприяла прискоренню структуроутворення штучного каменю з метою формування його фазового складу та експлуатаційних властивостей. Оптимізацію складу зв'язуючого виконували з метою забезпечення фізико-механічних властивостей каменю та формування у його складі корозійностійких фаз, для аналізу отриманих даних були побудовані графіки впливу співвідношення оксидів на властивості штучного каменю (рис. 1).

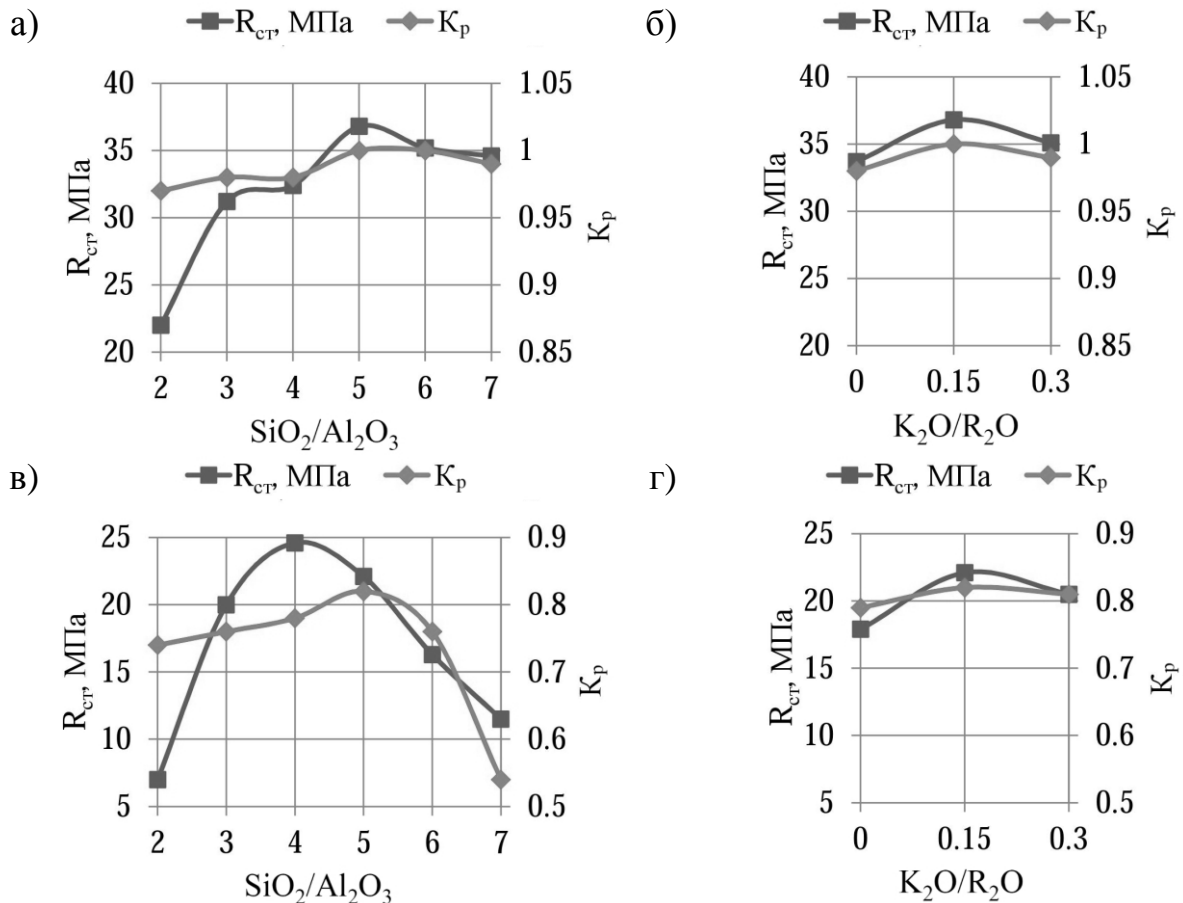


Рисунок 1 – Вплив співвідношення оксидів  $SiO_2/Al_2O_3$  (а, в), при  $K_2O/R_2O=0,15$  та  $K_2O/R_2O$  (б, г), при  $SiO_2/Al_2O_3=5$  лужного алюмосилікатного зв'язуючого на міцність при стиску та водостійкість каменю після тверднення при температурі 80°C (а, б) та 20°C (в, г) відповідно

З огляду результатів експерименту дослідження впливу температури тверднення та співвідношення оксидів лужного алюмосилікатного зв'язуючого на фізико-механічні властивості штучного каменю можна зазначити, що: при низьких температурах в діапазоні 20÷40°C та співвідношенні оксидів  $SiO_2/Al_2O_3=3,5\div5,0$  та  $K_2O/Al_2O_3=0,2\div0,1$  досягається водостійкість штучного каменю –  $K_c > 0,8$ ; найвищі показники міцності штучного каменю при низьких температурах 20÷40°C забезпечуються при співвідношенні  $SiO_2/Al_2O_3=3,5\div5,5$  та  $K_2O/Al_2O_3=0,25\div0,15$  в діапазоні 25÷30 МПа; при підвищенні співвідношення  $SiO_2/Al_2O_3 > 5,5$  для забезпечення водостійкості штучного каменю існує

необхідність підвищення температури початкового тверднення до  $60\div 80^\circ\text{C}$ .

У ході дослідження складів лужних алюмосилікатних зв'язуючих загальної структурної формули  $(0,7\div 1\text{Na}_2\text{O}+0\div 0,3\text{K}_2\text{O})\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot(2\div 7)\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$  виявлено, що визначальним фактором впливу на тип гідратних новоутворень є співвідношення  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , з його збільшенням утворюються цеолітоподібні фази з вищою кількістю кремнезему у кристалічній решітці. При твердінні лужного алюмосилікатного зв'язуючого за умов нормальних температур з забезпеченням найвищих характеристик штучного каменю оптимальним є співвідношенням  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=4\div 5$ . Введення оксиду калію у кількості  $\text{K}_2\text{O}/\text{R}_2\text{O}=0,15\div 0,3$  до складу зв'язуючого сприяє утворенню калієвих і натрій-калієвих цеолітоподібних новоутворень та підвищує ступінь їх кристалічності. При підвищенні температури початкового тверднення зв'язуючого від  $20$  до  $80^\circ\text{C}$  фазовий склад штучного каменю є незмінюється, проте це призводить до підвищення швидкості процесів структуроутворення та кристалічності фаз.

У результаті аналізу впливу оксидів лужного алюмосилікатного зв'язуючого на властивості та склад штучного каменю визначено їх оптимальні співвідношення  $(0,2\text{K}_2\text{O}+0,8\text{Na}_2\text{O})\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$ , що дозволяє за нормальних умов тверднення отримувати водостійкий штучний камінь за рахунок синтезу в складі гідратних цеолітоподібних новоутворень типу: цеоліту Na-A; натрієвого та калієвого гейландиту, а також калій-натрієвого філліпситу, що підтверджується згідно даних рентгенофазового та диференційно-термічного аналізу, а також електронної мікроскопії, що наведені на рисунку 2. На кривій ДТА зафіксовано ступінчасту дегідратацію штучного каменю до  $250^\circ\text{C}$ , що характерна для цеолітоподібних новоутворень типу гейландиту та філліпситу, яка підтверджується також ендоефектом при  $310^\circ\text{C}$ . Екзоефекти при температурах  $360$ ,  $590$  і  $860^\circ\text{C}$  вказують на наявність у фазовому складі каменю цеолітоподібних новоутворень типу Na-A. Мікроструктура штучного каменю характеризується високою щільністю, наявністю субкристалічних фаз, а також кристалічних гейландито- та філліпситоподібних новоутворень.

Таким чином, встановлено, що процес структуроутворення лужного алюмосилікатного зв'язуючого оптимального складу  $(0,2\text{K}_2\text{O}+0,8\text{Na}_2\text{O})\cdot 4,5\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$  у напрямку синтезу цеолітоподібних новоутворень за нормальних умов відбувається досить повільно, тому існує необхідність в його прискоренні. Для інтенсифікації структуроутворення та забезпечення високих фізико-механічних характеристик штучного каменю було обрано введення до складу зв'язуючого кальційвміщуючих модифікаторів різного складу. В якості кальційвміщуючих модифікаторів використовували: портландцемент ПЦ І-500, мелений доменний гранульований шлак, глиноземистий цемент ГЦ 50, гашене вапно пушонка, карбонат кальцію у кількості 5% від маси лужного алюмосилікатного зв'язуючого.

Найвищі показники міцності та водостійкості штучного каменю, як на ранніх термінах тверднення та на 28 добу,  $K_c > 0,95$  досягаються введенням до складу лужного алюмосилікатного зв'язуючого 5% гашеного вапна. При

додаванні 5% гашеного вапна фазовий склад штучного каменю характеризується цеолітоподібними новоутвореннями типу: жисмондіну, томсоніту, натрієвого та калієвого гейландиту і філіпситу, що забезпечують можливість отримання корозійностійкої матриці матеріалу.

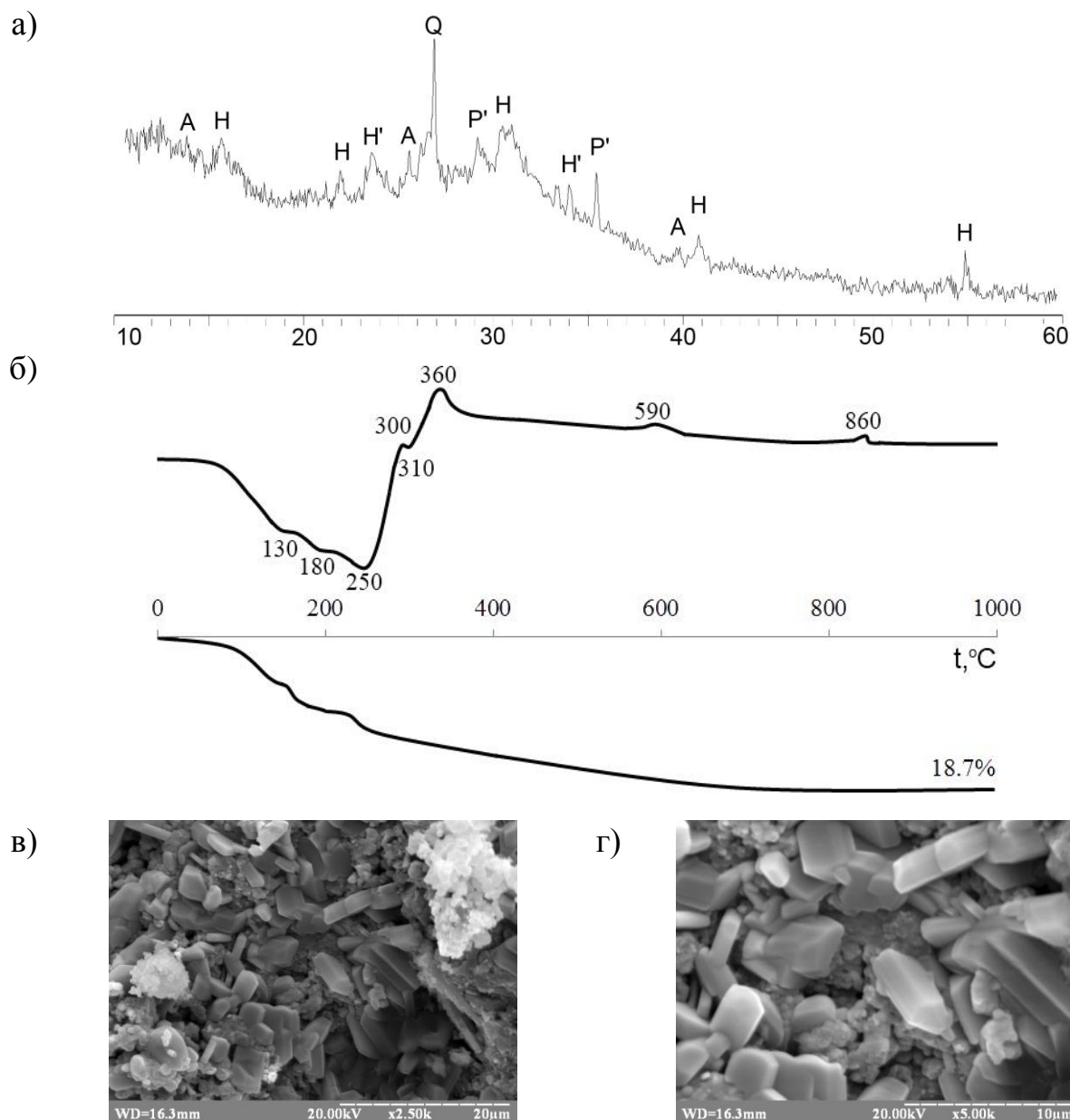


Рисунок 2 – Фазовий склад штучного каменю на основі зв'язуючого зі співвідношенням оксидів –  $(0,2K_2O+0,8Na_2O) \cdot 4,5SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O$  після тверднення при температурі  $20^\circ C$  протягом 90 діб: РФА (а); ДТА (б); фотографії мікроструктури (в, г) відповідно. Позначення: Q – кварц; А – цеоліт Na-A; P' – Na-K філіпситу; H – Na гейландит; H' – K гейландит

На третьому етапі досліджень даного розділу було оптимізовано склад модифікованого зв'язуючого для отримання за умов нормальних температур корозійностійкого штучного каменю. З метою прискорення процесів структуроутворення в якості модифікатора використовували гашене вапно

пушонку у кількості – 1,0; 2,0; 3,0 % в перерахунку на СаО від маси зв'язуючого, в якості лужного розчину силікатів використовували: рідке скло з силікатним модулем – 2,0; 2,5; 3,0. Згідно отриманих результатів забезпечення реологічних властивостей зв'язуючого, фізико-механічних характеристик та найвищої корозійної стійкості штучного каменю, можливе при використанні рідинного скла з модулем 2,2-2,7 та модифікацією гашеним вапном у кількості 1,2÷2,5% в перерахунку на СаО. Стійкість штучного каменю на основі модифікованого лужного алюмосилікатного зв'язуючого у сульфатних середовищах збільшується відповідно у ряді:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 < \text{MgSO}_4 < \text{Na}_2\text{SO}_4$ .

У четвертому розділі виконано дослідження впливу виду і кількості функціональних наповнювачів, органічних модифікаторів, армуючих компонентів та умов застосування і експлуатації на технологічні властивості розчинової суміші та експлуатаційні властивості покриття, а також забезпечення його ефективної сумісної роботи з бетонною поверхнею.

На першому етапі роботи даного розділу було обрано дослідити вплив наповнювачів, органічних модифікаторів та армуючих компонентів на властивості покриття. В якості наповнювачів було обрано Дніпровський річковий пісок фракцій 0,63...0,315 мм та 0,315...0 мм, а також золу винесення Ладижинської ТЕС – 0,16...0 мм. Згідно аналізу результатів можна зазначити, що для забезпечення високих експлуатаційних характеристик та технологічних властивостей покриття оптимальним наповненням є: пісок 0,63...0,315 мм – 40,8%, пісок 0,315...0 мм – 35,4% та зола ТЕС 0,16...0 мм – 23,8%.

Забезпечення технологічних властивостей розчинових сумішей та формування тріщиностійкої структури покриттів в значній мірі обумовлено наявністю в їх рецептурах функціональних добавок. Тому спочатку було поставлено задачу визначити вплив добавок на основі ефірів целюлози: гідроксипропілметилцелюлози (ГПМЦ), гідроксиетилметилцелюлози (ГЕМЦ) та карбоксиметилцелюлози (КМЦ) на водоутримувальну здатність розчинових сумішей покриттів. З отриманих експериментальних даних зроблено висновок, що для забезпечення водоутримувальної здатності та розтічності розчинової суміші необхідне введення добавки «GABROSA HV» на основі КМЦ у кількості 0,08-0,12% від маси покриття.

Згідно даних щодо пластифікації лужних цементних систем, що наведені у колективній роботі НДІВМ – монографії «Лужні цементи», були обрані добавки на основі таких речовин: сорбіт, ЛСТ, глюконат натрію та тринатрійфосфат. Згідно результатів досліджень, для отримання розчинової суміші покриття з забезпеченням розтічності та термінів придатності було обрано комплексний пластифікуючий модифікатор – (2,0% тринатрійфосфату і 1,0% глюконату натрію від маси лужного алюмосилікатного зв'язуючого).

З метою перекривання тріщин, зменшенню деформативності покриття та підвищення його тріщиностійкості подальші дослідження були направлені на армування композиту покриття поліпропіленовою фіброю (ППФ), базальтовою фіброю (БФ) та базальтовою слюдаю (БС) з максимальний розміром армуючих компонентів не більше 0,5 мм. За результатами досліджень встановлено, що для

підвищення тріщиностійкості покриття з забезпечення розтічності суміші, до його складу необхідно вводити 1÷2% базальтової слюди від маси зв'язуючого.

Наступним етапом роботи даного розділу було виконати оптимізацію складу захисних лужних алюмосилікатних з метою забезпечення реологічних властивостей розчинової суміші покриттів та експлуатаційних властивостей покриттів. У якості факторів було обрано: кількість наповнювачів (100÷150%) та кількість базальтової слюди (1÷2%) за масою від лужного алюмосилікатного зв'язуючого. Аналіз отриманих даних показує, що розтічність розчинової суміші покриття протягом 90 хвилин знаходиться в межах норми  $\pm 1$  см та водоутримуюча здатність більше 95% незалежно від складу.

Окрім забезпечення основних властивостей покриттів, їх ефективність використання характеризується показником корозійної стійкості захищеного бетону по відношенню до незахищеного, тому було виконано дослідження складу покриття на корозійну стійкість зразків захищеного бетону. Корозійну стійкість зразків захищеного бетону визначали щодо водних розчинів  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  та  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  концентрацією в перерахунку на  $\text{SO}_4^{2-}$  – 30 000 мг/л, та тривалістю випробувань протягом 90, 180, 270 та 360 діб. Проаналізувавши отримані результати дослідження, варто зазначити, що найвищою корозійною стійкістю захищеного бетону характеризується склад покриття з вмістом у своєму складі: 130÷145% наповнювачів та 1,3÷1,8% базальтової слюди.

При проектуванні складів захисних покриттів необхідно враховувати також вплив зовнішніх факторів – умов нанесення, структуроутворення та експлуатації захисних покриттів. Тому було обрано також дослідити вплив зовнішніх факторів на експлуатаційні характеристики розробленого покриття та сумісну роботу системи «бетон-покриття», що і визначає його довговічність.

Згідно отриманих результатів досліджень необхідно зазначити, що гарантований термін придатності розчинової суміші, за умов застосування при температурі від +5 до +30°C та вологості середовища 60-95%, становить 90 хвилин, вплив умов на фізико-механічні характеристики покриття обмежений ранніми термінами тверднення та не знижує їх нормативних показників. Аналіз сумісної роботи захисного покриття з бетонною основою підтверджує його експлуатаційні характеристики та захисні властивості, а також передумови для забезпечення його довговічності. Мікроструктура контактних зон «покриття-бетон» та «покриття-агресивне середовище» після витримування зразків бетону у водних розчинах  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  та  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  концентрацією 30 000 мг/л, характеризується високою їх щільністю та відсутністю руйнувань.

Для оцінки ефективності використання розроблених захисних покриттів, паралельно з дослідженнями корозійної стійкості зразків захищеного бетону також було проведено дослідження корозійної стійкості незахищеного бетону ідентичного складу. Корозійну стійкість зразків захищеного та незахищеного бетону оцінювали порівнянням їх міцності при згині, результати цих досліджень наведені на рисунку 3. Згідно отриманих результатів досліджень встановлено що, корозійна стійкість зразків захищеного бетону після витримування протягом 360 діб в агресивних водних розчинах солей сульфатів

з концентрацією в перерахунку на  $\text{SO}_4^{2-}$  – 30 000 мг/л, при найменшій товщині покриття характеризується  $K_{\text{ст}} \geq 0,9$ , стійкість бетону зростає з товщиною покриття та ранжирується в наступному порядку  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

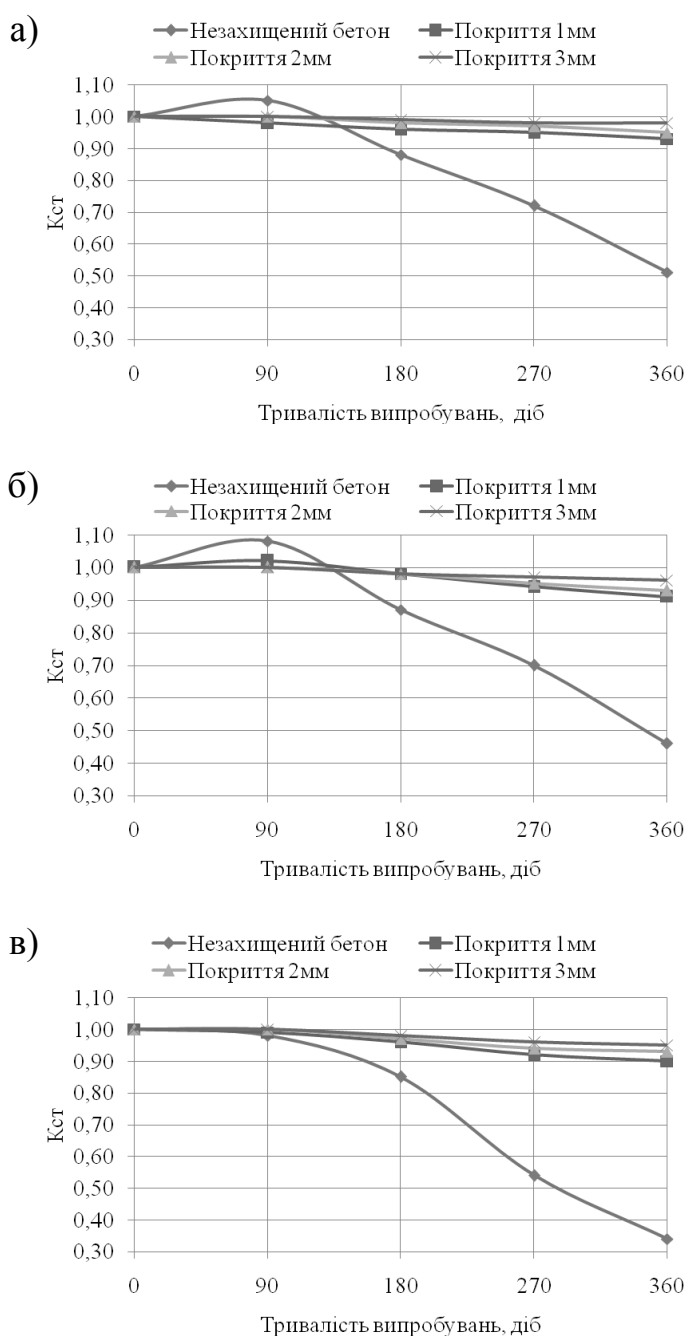


Рисунок 3 – Зміна коефіцієнту корозійної стійкості ( $K_{\text{ст}}$ ) зразків захищеного та незахищеного бетону при витримуванні їх у водному розчині:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (а),  $\text{MgSO}_4$  (б),  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (в) концентрацією в перерахунку на  $\text{SO}_4^{2-}$  – 30 000 мг/л.

Для можливості моделювання прогнозованого терміну експлуатації та довговічності захисних покриттів за різних характеристик агресивних середовищ було обрано дослідити корозійну стійкість захищеного бетону при нанесенні захисного покриття товщиною 1, 2, 3мм та проникність сульфатів у

бетон методом зондового аналізу. Згідно отриманих результатів досліджень, які наведені на рисунку 4 встановлено, що проникність сульфатів у структуру бетону зменшується у ряді  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4$ .

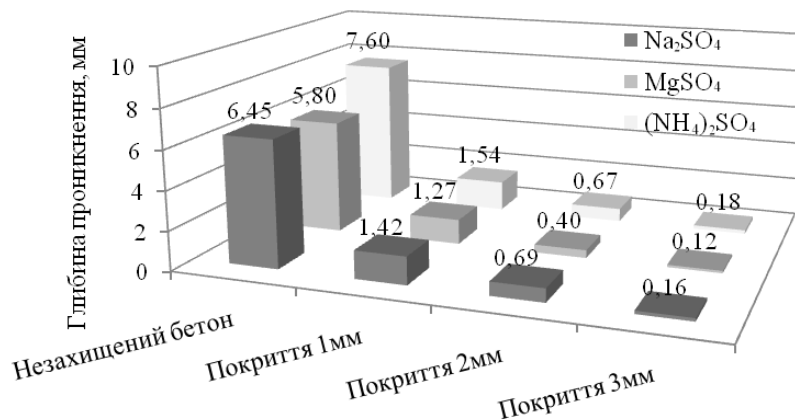


Рисунок 4 – Глибина проникнення сульфатів у зразки бетону при витримуванні їх протягом 360 діб у агресивному розчині концентрацією в перерахунку на  $\text{SO}_4^{2-}$  – 30 000 мг/л.

**П'ятий розділ** присвячено випуску дослідно-промислової партії розробленого покриття на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого згідно ТУ У 23.5 - 02070909 – 001:2016 для захисту бетону від корозії, розроблено технологічну схему виробництва та рекомендації щодо застосування. Економічний ефект від впровадження розробленого захисного покриття для бетону на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого при захисті 1 м<sup>2</sup> бетонної поверхні становить 42,7 грн. Економічний ефект, отриманий при використанні розробленого покриття для захисту 100 м<sup>2</sup> бетонної поверхні складає 4270 грн. При впровадженні розробленого складу захисного покриття будівельною компанією ТОВ “Актив Технолоджи” було підтверджено повну відповідність властивостей розробленого захисного покриття для бетону вимогам ДСТУ-Н Б В.2.6-186:2013 «Настанова щодо захисту будівельних конструкцій будівель та споруд від корозії» та ДСТУ Б В.2.6-145:2010 «Захист бетонних та залізобетонних конструкцій від корозії», що свідчить про їх високі експлуатаційні характеристики та ефективність використання.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено та отримано на основі лужних алюмосилікатних зв'язуючих покриття для захисту бетону від дії сульфатних агресивних середовищ з забезпеченням його технологічних та експлуатаційних властивостей, шляхом регулювання процесів структуроутворення штучного каменю з метою формування в його фазовому складі корозійностійких цеолітоподібних новоутворень.
2. Досліджено особливості процесів структуроутворення лужного алюмосилікатного зв'язуючого та встановлено вплив температури і



співвідношення основних оксидів на фізико-механічні характеристики, фазовий склад та мікроструктуру штучного каменю. Визначено оптимальне співвідношення оксидів лужного алюмосилікатного зв'язуючого –  $(0,2K_2O+0,8Na_2O) \cdot 4,5SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot nH_2O$ , за допомогою фізико-хімічних методів досліджень встановлено наявність у фазовому складі штучного каменю корозійностійких фаз – натрієвого та калієвого гейландиту, філліпситу.

3. Вивчено вплив модифікації лужних алюмосилікатних зв'язуючих кальційвміщуючими добавками на властивості штучного каменю та фазовий склад гідратних новоутворень та доведено, що за умов нормальних температур  $T=20\pm 2^\circ C$  можливо отримати штучний камінь з такими фізико-механічними характеристиками: міцність при стиску  $\geq 50$  МПа, міцність при згині  $\geq 12$  МПа, коефіцієнт водостійкості  $K_{вст} \geq 0,98$ . Виконано оптимізацію складу модифікованого лужного алюмосилікатного зв'язуючого з метою забезпечення експлуатаційних характеристик штучного каменю та формування у його складі корозійностійких фаз. Забезпечення найвищих фізико-механічних характеристик і корозійної стійкості штучного каменю –  $K_{ст} \geq 0,95$  у сильноагресивних сульфатних середовищах можливе при використанні у складі зв'язуючого натрієвого рідкого скла з модулем 2,2-2,7 та модифікацією кальційвміщуючою добавкою у кількості 1,2÷2,5% в перерахунку на СаО.
4. Встановлено вплив функціональних наповнювачів, модифікаторів, армуючих компонентів на технологічні властивості розчинової суміші та формування структури захисного покриття, встановлено область оптимального співвідношення функціональних наповнювачів, кількості модифікуючих добавок та армуючих компонентів з метою забезпечення їх експлуатаційних властивостей та формування ефективної структури захисних покриттів
5. Розроблено оптимальний склад захисного покриття для бетону на основі модифікованого лужного алюмосилікатного зв'язуючого, що характеризується регламентованими технологічними властивостями розчинової суміші: розтічність 20см, термін придатності  $\geq 90$  хв., водоутримувальна здатність  $\geq 95\%$  та високими експлуатаційними характеристиками: міцність при стиску  $\geq 40,0$  МПа, міцність при згині  $\geq 8,0$  МПа, адгезійну міцність  $\geq 1,2$  МПа, водонепроникність W10, морозостійкість F300. Виконано аналіз сумісної роботи захисного покриття з бетонною основою та стану контактних зон «покриття-бетон» та «покриття-агресивне середовище» залежно від умов нанесення та характеристик експлуатаційного агресивного середовища.
6. Досліджено довговічність та ефективність використання розробленого покриття на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого для захисту бетону від агресивних сульфатних середовищ та встановлено, що корозійна стійкість зразків захищеного бетону після витримання протягом 360 діб в агресивних водних розчинах солей сульфатів з

концентрацією в перерахунку на  $\text{SO}_4^{2-}$  – 30 000 мг/л, ранжирується в наступному порядку  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4 > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , а проникність сульфатів у структуру бетону зменшується у ряді  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{MgSO}_4$ . Порівняння корозійної стійкості та проникності сульфатів захищених та незащених зразків бетону дозволяє рекомендувати розроблені покриття для захисту бетону від слабо-, середньо- та сильноагресивних сульфатних агресивних при виконанні будівельних робіт у зимових та літніх умовах.

### **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПРАЦЯХ:**

1. Guziy S. Rehabilitation of concrete surfaces of hydropower engineering structures deteriorated by soft corrosion and cavitation / S. Guziy, R. Hela, V. Kyrychok // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 688. – pp. 107–112. (Наукометрична база Scopus)
2. Kryvenko P. Geocement-based coatings for repair and protection of concrete from exposure of ammonium salt / P. Kryvenko, S. Guziy, V. Kyrychok // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 923. – pp. 121–124. (Наукометрична база Scopus)
3. Kyrychok V. Influence of temperature on structure formation processes geocement for rehabilitation of concrete / V. Kyrychok, R. Drochytka, P. Kryvenko // *Advanced Materials Research*. – 2015. – Vol. 1122. – pp. 111–114. (Наукометрична база Scopus)
4. Sulfate resistance of alkali activated cements / P. Kryvenko, S. Guzii, Kovalchuk O., V. Kyrychok // *Materials Science Forum*. – 2016. – Vol. 865. – pp. 95–106. (Наукометрична база Scopus)
5. Kryvenko P. Influence of the ratio of oxides and temperature on the structure formation of alkaline hydro-aluminosilicates / P. Kryvenko, V. Kyrychok, S. Guzii // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 5 (83). – pp. 49–57. (Наукометрична база Scopus)
6. Дослідження впливу органічних модифікаторів на реологічні властивості лужних алюмосилікатних суспензій, призначених для отримання захисних покриттів / П.В. Кривенко, С.Г. Гузій, В.І. Киричок, А.В. Кравченко // *Вісник ОДАБА*. – Одеса, Зовнішрекламсервіс. – 2011. – №43. – С. 88–95.
7. Дослідження впливу органічних добавок на зміну в'язкості рідинного скла / А.В. Кравченко, В.І. Киричок, П.В. Кривенко, С.Г. Гузій // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр.* – Рівне: НУВГП. – 2013. – №26. – С. 225–231.
8. Киричок В.І. Оптимізація складу геоцементного покриття для захисту бетону від корозії в амонійних солях / В.І. Киричок // *Вісник ОДАБА*. – Одеса, Зовнішрекламсервіс. – 2014. – №54. – С. 146–152.
9. Киричок В.И. Влияние температуры твердения и состава геоцементов на их физико-механические свойства / Киричок В.И., Кривенко П.В., Гузий С.Г. // *Вісник ОДАБА*. – Одеса, Зовнішрекламсервіс. – 2015. – №58. – С.

- 164–170.
10. Киричок В.І. Вплив кальцій вміщуючих модифікаторів на водостійкість та набір міцності геоцементів / В.І. Киричок, С.Г. Гузій, П.В. Кривенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП. – 2015. – №30. – С. 29–35.
  11. Киричок В.І. Особливості процесів корозії та захисту бетону каналізаційних колекторів / В.І. Киричок // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – Київ: Науково-технічний збірник. – 2015. – №56. – С. 54–61.
  12. Киричок В.І. Корозійна стійкість модифікованих геоцементів отриманих за умов нормальних температур / В.І. Киричок, П.В. Кривенко, С.Г. Гузій // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – Київ: Науково-технічний збірник. – 2016. – №57. – С. 32–40.
  13. Кривенко П.В. Наповнення та армування матриці лужних алюмосилікатних захисних покриттів для бетону / П.В. Кривенко, В.І. Киричок, С.Г. Гузій // Строительные материалы и изделия. – 2016. – №2-3 (92). – С. 34–37.
  14. Киричок В.І. Наповнення та армування матриці лужних алюмосилікатних захисних покриттів для бетону / В.І. Киричок, П.В. Кривенко, С.Г. Гузій // Строительные материалы и изделия. – 2017. – №3-4 (95). – С. 30–33.
  15. Вплив складу геоцементу та температури обробки на властивості захисних покриттів / П.В. Кривенко, Б.Я. Константиновський, С.Г. Гузій, В.І. Киричок // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – Київ: Науково-технічний збірник. – 2012. – №43. – С. 185–191.
  16. Дослідження реологічних властивостей модифікованих геоцементів / С.Г. Гузій, П.В. Кривенко, В.І. Киричок, А.В. Кравченко, Я. Манак // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – Київ: Науково-технічний збірник. – 2013. – №48. – С. 32–38.
  17. Киричок В.І. Вплив кальцієвої модифікації геоцементу на фізико-механічні властивості штучного каменю / В.І. Киричок // Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішпрекламсервіс. – 2016. – №62. – С. 86–89.
  18. Guziy S. Rehabilitation of concrete surfaces of hydropower engineering structures deteriorated by soft corrosion and cavitation / S. Guziy, R. Hela, V. Kyrychok // Sbornik odbornych abstraktu 14 Mezinarodni konference WTA CZ “CRRB-14th international conference on rehabilitation and reconstruction of building”. – Abstract. – Brno, 2012. – P. 27.
  19. Kryvenko P. Geocement-based coatings for repair and protection of concrete from exposure of ammonium salt / P. Kryvenko, S. Guziy, V. Kyrychok // Sbornik odbornych abstraktu 15 Mezinarodni konference WTA CZ “CRRB-15th international conference on rehabilitation and reconstruction of building”. – Abstract. – Brno, 2013. – P. 36–37.
  20. Guziy S. Technological features of the application of geocement-based coatings for protection of concrete from exposure of ammonium salts / S. Guziy, P. Kryvenko, V. Kyrychok // Proc. AMCM 2014, 8th International

- Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures. – Abstract. – Wroclaw, 2014. – P. 550–559.
21. Repair and protection of concrete constructions of manure removal system anticorrosive coating on geocement-based / P. Krivenko, S. Guziy, V. Petranek, V. Kyrychok // Sbornik prednasek “Sanace betonivyh konstrukci, 2014”. XXIV, mezinarodni symposium. – Abstract. – Brno, 2014. – P. 96–101.
  22. Kryvenko P. Geocement-based coatings for protection of concrete from exposure of sulphate salts / P. Kryvenko, S. Guziy, V. Kyrychok // Proc. NTCC2014: 5-th Non-Traditional cement & Concrete. – Abstract. – Brno, 2014. – P. 131–134.
  23. Kryvenko P. Geocement-based coatings for repair and protection of concrete from exposure of ammonium salt / P. Kryvenko, S. Guziy, V. Kyrychok // Sbornik odbornych abstraktu 15 Mezinarodni konference WTA CZ “CRRB-16th international conference on rehabilitation and reconstruction of building”. – Abstract. – Brno, 2014. – P. 157–158.
  24. Sulfate resistance of alkaline cements / P. Krivenko, S. Guziy, V. Petranek, V. Kyrychok // Proc. 14th Conference: Binders 2015 / Maltoviny 2015 ICBM: „International Conference Binders and Materials“. – Abstract. – Brno, 2015. – P. 44–45.
  25. Kyrychok V. Features of technology application of alkaline aluminosilicate protective coatings for concrete / V. Kyrychok // Conf. prog. and proceed. International scientific –practical conference of young scientists, “Build-Master-Class-2016”. – KNUCA, Kyiv. – 2016. – P. 143–144.
  26. Kyrychok V. Ensuring crack resistance of protective coatings based on alkaline aluminosilicates / V. Kyrychok // Conf. prog. and proceed. International scientific –practical conference of young scientists, “Build-Master-Class-2017”. – KNUCA, Kyiv. – 2017. – P. 208.
  27. Киричок В.І. Вплив складу та хімічної модифікації геоцементів на фізико-механічні властивості штучного каменю / В.І. Киричок // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів “Build-Master-Class-2015”. – К.: КНУБА. – 2015. – С. 112–113.
  28. Киричок В.І. Захист бетонних поверхонь від дії м’якої корозії покриттями на основі геоцементів / В.І. Киричок // Збірник тез студентських доповідей 73-ї науково-практичної конференції КНУБА. – К.: КНУБА. – 2012. – С. 94.
  29. Киричок В.І. Дослідження стійкості геоцементних покриттів до парокпельної дії води / В.І. Киричок // Збірник тез студентських доповідей 74-ї науково-практичної конференції КНУБА. – К.: КНУБА. – 2013. – С. 111–112.
  30. Зв’язуючі алюмосилікатні лужні ТУ У 23.5 - 02070909 – 001:2016/ О.М. Петропавловський, С.Г. Гузій, Г.В. Вознюк, В.І. Пушкарь, А.В. Кравченко, В.І. Киричок // . – [Чинний від 2016–06–14]. – Київ, 2016. – 22 с. – (Технічні умови).

## АНОТАЦІЯ

Киричок В.І. Лужні алюмосилікатні зв'язуючі з підвищеною сульфатостійкістю та покриття на їх основі для захисту бетону. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та виробы. – Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України. – Київ, 2018.

Дисертаційна робота присвячена питанням розробки на основі лужних алюмосилікатних зв'язуючих покриттів для захисту бетону від дії сульфатних агресивних середовищ з забезпеченням їх технологічних та експлуатаційних властивостей.

Теоретично обґрунтовано та експериментально доведена можливість отримання лужних алюмосилікатних зв'язуючих у системі  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ , які характеризуються необхідними для захисних покриттів властивостями, що забезпечуються фазовим складом штучного каменю, який отримують за рахунок управління процесами структуроутворення шляхом зміни співвідношення оксидів та модифікацією кальційвміщуючими добавками.

Вивчено вплив хімічних кальційвміщуючих модифікаторів на процеси структуроутворення лужних алюмосилікатних зв'язуючих, який за умов нормальних температур характеризується підвищенням реакційної здатності зв'язуючих з метою отримання сульфатостійких цеолітоподібних гідратних новоутворень та забезпечення властивостей штучного каменю

Отримано на основі модифікованих лужних алюмосилікатних зв'язуючих покриття для захисту бетону від дії сульфатних агресивних середовищ, вивчено експлуатаційні характеристики та доведено ефективність його використання.

Ключові слова: алюмосилікат, покриття, корозія, бетон, захист.

## АННОТАЦИЯ

Киричок В.И. Щелочные алюмосиликатные связующие с повышенной сульфатостойкостью и покрытия на их основе для защиты бетона. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. - Киевский национальный университет строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины. – Киев, 2018.

Диссертация посвящена вопросам разработки на основе щелочных алюмосиликатных связующих покрытий для защиты бетона от действия сульфатных агрессивных сред с обеспечением их технологических и эксплуатационных свойств.

Теоретически обоснована и экспериментально доказана возможность получения щелочных алюмосиликатных связующих в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-$

SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, которые характеризуются необходимыми для защитных покрытий свойствами, что обеспечиваются фазовым составом искусственного камня, который получают за счет управления процессами структурообразования путем изменения соотношения оксидов и модификацией кальцийсодержащими добавками.

Изучено влияние химических кальцийсодержащих модификаторов на процессы структурообразования щелочных алюмосиликатных связующих, который в условиях нормальных температур характеризуется повышением реакционной способности связующих для получения сульфатостойких цеолитоподобных гидратных новообразований и обеспечения свойств искусственного камня.

Получено на основе модифицированных щелочных алюмосиликатных связующих покрытие для защиты бетона от действия сульфатных агрессивных сред, изучены эксплуатационные характеристики и доказано эффективность его использования.

Ключевые слова: алюмосиликат, покрытие, коррозия, бетон, защита.

## ABSTRACT

Kyrychok V.I. Alkaline aluminosilicate binders with increased sulphate resistance and coatings based on them for the protection of concrete. – On the right of the manuscript.

PhD thesis in Engineering sciences by specialty 05.23.05 – building materials and products. – Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine. – Kyiv, 2018.

The thesis is devoted to the issues of coatings for the protection of concrete development on the basis of alkaline aluminosilicate binders from the influence of sulfate aggressive media providing their technological and operational properties.

The possibility of alkaline aluminosilicate binders receiving in the system of Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, which are characterized by necessary properties for protective coatings, ensured by phase composition of artificial stone, which is obtained by means of structure formation processes control by oxides proportion change and calcium supplements modification is theoretically and experimentally proved.

The influence of chemical calcium-containing modifiers on the processes of alkaline aluminosilicate binders structure formation, which in the conditions of normal temperatures is characterized by an increase of binders reactivity for the purpose of sulfate-resistant zeolitic hydrated newgrowths receiving and properties of artificial stone providing, is studied.

The coating for the protection of concrete from the influence of sulfate aggressive media is received on the basis of modified alkaline aluminosilicate binders, its operational characteristics are studied and usage efficiency is proved.

Key words: aluminosilicate, coating, corrosion, concrete, protection.