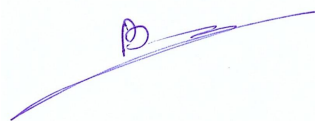


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Конєв Віталій Васильович



УДК 691.55:699.887 (043.3)

**ЕЛЕКТРОПРОВІДНА СИЛКАТНА КОМПОЗИЦІЯ
ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ КОНСТРУКЦІЙ
І СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Плугін Андрій Аркадійович,
Український державний університет
залізничного транспорту,
завідувач кафедри залізничної колії
і транспортних споруд

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Толмачов Сергій Миколайович,
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
професор кафедри технології
дорожньо-будівельних матеріалів і хімії

кандидат технічних наук, доцент
Казімагомедов Ібрагім Емірчубанович,
Харківський національний університет
будівництва та архітектури,
доцент кафедри будівельних
матеріалів і виробів

Захист дисертації відбудеться « 28 » квітня 2021 р. о 12:00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7 і на сайті <http://kart.edu.ua>

Автореферат розісланий « 22 » березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



О.В. Лобяк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вагомою частиною інфраструктури залізниць є цивільні будівлі та споруди – вокзали, конкорси, пасажирські та вантажні платформи, перони, дебаркадери, пакгаузи тощо. Вони зазнають динамічних впливів, електричних впливів від джерел постійного та змінного струму, атмосферних впливів та ін. Вважають, що електричні впливи спричиняють електрокорозію лише металевих конструкцій і арматури залізобетонних конструкцій на ділянках, електрифікованих постійним струмом. Проте під впливом пульсуючого однонаправленого електричного потенціалу ПООП, що виникає під час проходження поїздів, бетон та мурувальний розчин також піддаються електрокорозії, яка полягає в електроміграційному вилуговуванні $Ca(OH)_2$ та утворенні тріщин. Електричними впливами на бетон та конструкції з нього є не тільки електричні потенціали та струми витоку, а й надлишкові електричні заряди у вигляді макрополяризації об'єктів як від цих потенціалів, так і природного походження від нерівномірності електричного поля Землі на місцевості, перенесення катіонів поверхневими та підземними водами.

Зазвичай для запобігання електрокорозії застосовують анодний або катодний захист, електродренування. Раніше в УкрДУЗТ було запропоновано здійснювати захист споруд із бетону, на які можуть натікати струми витоку з рейкових колій, заземленими екранами з простим або діодним заземленням, який можна вважати різновидом електродренування. Такі екрани перехоплюють струми витоку та дреноують їх через заземлення. Їх виконання у вигляді металоін'єкційних об'єктів дозволяє підвищити несучу здатність конструкцій, забезпечити їх повну водонепроникність. Проте металоін'єкційні об'єкти є високовартісними та трудомісткими. За участю автора розроблено екран-покриття із композиції проникної дії на основі портландцементу. Композиція за рахунок комплексної хімічної добавки забезпечує кольматацію порового простору поверхневого шару бетону та підвищення його електричного опору. Одночасно за рахунок електропровідного наповнювача саме покриття має високу електропровідність та забезпечує дреноування струмів витоку. Проте ці композиції також є дорогими. Отже, розробка інших електропровідних композицій для улаштування заземлених екранів є актуальним практичним завданням. Такі композиції можуть виготовлятися силікатними – на основі натрієвого рідкого скла. Проте сумісність електропровідних наповнювачів з такими композиціями, їх водостійкість залишаються недослідженими. Тому дослідження впливу електропровідних наповнювачів на електрофізичні, гідрофізичні, фізико-механічні властивості силікатних композицій є актуальним науковим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконані на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту у складі держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками» (№ДР 0115U000279), «Розвиток теоретичних основ виникнення та запобігання порушень стійкості земляних та інших споруд» (№ДР 0115U000276).

Мета дослідження – розробка електропровідної силікатної композиції для екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць.

Наукова гіпотеза: Для заземлених екранів для захисту від електрокорозії конструкцій, що не вимагають відновлення несучої здатності, доцільно застосувати електропровідну силікатну композицію на основі силікату натрію та вуглеграфітового наповнювача. Водостійкість композиції на основі рідкого скла та вуглеграфітового наповнювача може бути забезпечена додаванням меленого доменного гранульованого основного шлаку, внаслідок взаємодії якого з силікатом натрію утворюватимуться кальцієві, лужні та лужноземельні цеолітоподібні алюмосилікати.

Завдання досліджень:

- критичний аналіз літературних джерел і результатів натурних досліджень з питань впливу електричного струму на цементний камінь, бетон, конструкції та споруди, розташовані поблизу електрифікованих постійним струмом залізничних колій, та захисту від нього;
- розвиток уявлень про електрокорозію бетону та конструкцій із нього;
- теоретичне обґрунтування створення електропровідних силікатних композицій для екранного захисту від електрокорозії конструкцій та споруд залізниць;
- експериментальні дослідження впливу складу на електрофізичні, гідрофізичні та фізико-механічні властивості силікатних композицій з електропровідними наповнювачами;
- фізико-хімічні та електронно-мікроскопічні дослідження фазового складу продуктів гідратації та структури силікатних композицій з електропровідними наповнювачами;
- експериментальні дослідження ефективності екранного захисту електропровідною силікатною композицією;
- розробка і патентування складу композиції, удосконалення і дослідне впровадження конструктивно-технологічних рішень ремонту та екранного захисту бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд залізниць від електрокорозії.

Об'єкт дослідження – електропровідні силікатні композиції для екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць.

Предмет дослідження – властивості електропровідних силікатних композицій для екранного захисту конструкцій і споруд залізниць, явища і процеси, що відбуваються під час твердіння та експлуатації композицій і забезпечують їх електрофізичні, гідрофізичні та фізико-механічні властивості.

Методи досліджень. Фізико-механічні, гідрофізичні властивості композицій визначали стандартними методами на зразках-призмах. Адгезію композицій до бетону визначали за допомогою цифрового адгезіометра. Електрофізичні властивості визначали на зразках-призмах із композиції або у покриттях із неї на грані зразків-призм із цементно-піщаного розчину. Склад продуктів гідратації і характер їх взаємодії з електропровідним наповнювачем досліджували за допомогою рентгенофазового аналізу, інфрачервоної спектроскопії, світлової та скануючої електронної мікроскопії з електронно-зондовим мікроаналізом. Вплив на залізобетонні конструкції електричних полів та струмів і ефективність

захисту від них досліджували за допомогою оригінальних лабораторних установок, що моделювали експлуатаційні умови.

Достовірність отриманих результатів забезпечена обранням апробованих незалежних методів експериментальних досліджень – стандартних фізико-механічних випробувань, гідрофізичних та електрометричних вимірювань, фізико-хімічних досліджень – рентгенофазового аналізу, інфрачервоної спектроскопії, світлової і скануючої електронної мікроскопії, натурних обстежень і експлуатаційних випробувань, їх достатньою статистичною забезпеченістю, а також узгодженістю результатів між собою та з результатами теоретичних досліджень.

Обґрунтованість результатів досліджень забезпечена застосуванням в теоретичних дослідженнях фундаментальних положень і закономірностей фізичної та колоїдної хімії, фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів, електрохімії.

Наукова новизна одержаних результатів

Встановлено вперше:

- у залізобетонних та бетонних конструкціях внаслідок впливу пульсуючого однонаправленого електричного потенціалу ПООП утворюються зони, в яких відбуваються корозійні процеси: 1) зона нейтралізації бетону – карбонізація з утворенням карбонатів; 2) катодна зона арматури – електрохімічне утворення аніонів OH^- і водню H_2 ; 3) анодна зона арматури – анодне розчинення Fe і утворення $Fe(OH)_3$; 4) зона вилуговування бетону – винесення із бетону катіонів Ca^{2+} та їх карбонізація на поверхні;
- внаслідок накладання електричного потенціалу на силікатну композицію з графітовим наповнювачем C поверхні частинок C розділяються на анодні й катодні ділянки; на анодних ділянках відбувається розчинення C з утворенням карбонатів, на катодних в аеробних умовах – утворення іону OH^- .

Набули подальшого розвитку уявлення:

- про електрокорозію від ПООП: носієм струму витоку є: у ґрунті – катіони Na^+ та K^+ , у бетоні – катіони Ca^{2+} та аніони OH^- , у сталевій арматурі – електрони e^- ;
- про твердіння і водостійкість силікатних композицій: продуктами взаємодії силікату натрію $Na_2O \cdot nSiO_2$ та кремнійфториду натрію Na_2SiF_6 є гель ортокремнієвої кислоти $Si(OH)_4$ і фторид натрію NaF , частинки яких мають негативний поверхневий заряд і утворюють між собою тільки електрогетерогенні контакти, які в сухих умовах за рахунок високої концентрації порового електроліту NaF мають високу міцність, але не є водостійкими; у разі додавання меленого доменного гранульованого шлаку його сполуки типу геленіту C_2AS взаємодіють з NaF з утворенням гідроніфеліну $Na_2Si_2H_2$, гідроалюмінату кальцію C_3AH_6 і фториду кальцію CaF_2 ; частинки C_3AH_6 і CaF_2 мають позитивний поверхневий заряд і утворюють з $Si(OH)_4$ електрогетерогенні контакти, які забезпечують підвищення водостійкості штучного каменю.

Практична значущість одержаних результатів забезпечена розробкою та патентуванням композиції проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії на основі портландцементу та комплексної хімічної добавки з електропровідним наповнювачем та електропровідної шпаклювальної композиції на

основі рідкого скла та доменного гранульованого шлаку з електропровідним наповнювачем. Вона підтверджується економічним ефектом від впровадження результатів досліджень, обумовлених виконанням заходів із захисту від електрокорозії пошкоджених конструкцій, який склав 388,8 тис. грн., а також розробкою стандарту підприємства АТ «Укрзалізниця». Результати досліджень застосовані у навчальному процесі УкрДУЗТ з підготовки бакалаврів і магістрів за освітніми програмами спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні результати отримані автором особисто, зокрема, самостійно виконано аналітичний огляд літератури з тематики досліджень, більшість натурних обстежень, фізико-механічних випробувань, електрометричних вимірювань та фізико-хімічних досліджень, обробка та отримання експериментальних залежностей, розрахунки. Постановлення завдань досліджень, формулювання наукової гіпотези та нових наукових положень виконані спільно з науковим керівником. Експлуатаційні дослідження та впровадження результатів досліджень – спільно із співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідались на: 78-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Харків, 2016, VI та VIII Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 2017, 2019; Міжнародній науково-технічній конференції «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», Могильов, 2017; 30-й Міжнародній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків, 2017; 2-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі», Харків, 2017.

Публікації.

Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковано у 18 наукових працях, з яких 1 стаття у виданні, що індексується НМБД Scopus, 5 статей у виданнях, що входять до переліку фахових видань України, 8 праць апробаційного характеру, з яких 1 – у виданні, що індексується НМБД Scopus, 2 патенти на винахід, 2 додаткові публікації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, основних висновків, списку використаних джерел із 208 найменувань на 24 сторінках, містить 148 сторінок основного тексту, 79 рисунків, 29 таблиць, 10 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень, наведено наукову гіпотезу, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію та опублікування результатів досліджень, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі виконано критичний аналіз найбільш значущих робіт з дослідження факторів, що спричиняють пошкодження конструкцій цивільних

будівель і споруд, та захисту від них (В.В.Кінда, В.М.Москвіна, В.С.Артамонова, С.В.Шестоперова, В.І.Бабушкіна, А.Ф.Полака, С.М.Алексеева, В.Л.Чернявського, Р.Sandberg, J.Stark, С.Й.Солодкого, С.М.Толмачова та ін., у т.ч. електричних впливів (І.А.Корнфельда, І.М.Єршова, В.А.Притули, А.В.Котельникова, І.В.Стрижевського, О.О.Старосельського, В.І.Подольського та ін.). Встановлено, що пошкодження спричиняють механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біохімічні фактори. Характерними для залізниць є електричні впливи струмів витоку з рейок та електрокорозія від них.

В дисертації розвинуто роботи наукової школи А.М.Плугіна, зокрема, А.А.Плугіна, Л.В.Трикоз, Д.А.Плугіна, В.А.Лютото, О.С.Борзяк, О.А.Плугіна, О.А.Дудіна, О.А.Конєва, О.А.Забіяки, С.Г.Нестеренка, В.В.Касьянова, у яких встановлено негативний вплив електричних полів, потенціалів і надлишкових зарядів на конструкції, доведено, що струми витоку по мірі руху залізничними коліями електрорухомого складу наводять на місцевість і конструкції пульсуючий однонаправлений електричний потенціал ПОЕП і спричиняють електрокорозію не тільки сталевих конструкцій і арматури залізобетону, а й електрокорозію бетону, що полягає у його інтенсивному електроміграційному вилуговуванні. Електрокорозійні процеси набагато прискорює обводненість конструкцій. Виконано натурні обстеження, в результаті яких уточнено найбільш уразливі для електрокорозії місця конструкцій – нижня частина опор високих пасажирських платформ, мостових опор, нижні грані та ребра прогонових будов. Встановлено, що активні водозабірні свердловини сприяють розподілу електричних потенціалів на поверхні землі від позитивних $+(0,6-0,7)$ В на конструкціях будівлі над свердловиною до негативних $-0,4$ В на відстані 30–50 м від неї.

В результаті аналізу літературних даних встановлено, що у галузі експлуатації будівель та споруд вже існують системи моніторингу їх технічного стану. Проте вони не передбачають діагностування електрокорозійної небезпеки та електрокорозійного стану об'єктів та не мають працюючих підсистем автоматичної реалізації заходів із захисту від електрокорозії та відновлення втрачених експлуатаційних властивостей.

У роботах наукової школи А.М.Плугіна як ефективний засіб захисту від електрокорозії запропоновано електрохімічний захист заземленими екранами на рівні нульової відмітки, які дренують струми витоку та блукаючі струми. Екрани виконуються у вигляді металоін'екційних обойм у разі відновлення несучої здатності конструкцій або із електропровідних композицій на основі в'язучих речовин у разі лише ремонту поверхні та захисту. Проте металоін'екційні обойми та композиції на основі портландцементу за рахунок високого вмісту хімічних добавок є високовартісними.

Аналітичний огляд робіт Л.Е.Врублевського, В.Р.Сердюка, О.В.Христича, К.К.Пушкарьової, С.Г.Гузія, А.Н.Лопанова та ін., присвячених створенню електротехнічних композицій на основі мінеральних в'язучих, а також робіт М.І.Субботкіна, В.Д.Глуховського, П.В.Кривенка, О.А.Бродко та ін. з лужних в'язучих, дозволив припустити можливість створення електропровідної силікатної композиції на основі рідкого скла – силікату натрію для екранного захисту конструкцій, що не вимагають відновлення несучої здатності та ремонту

поверхні. Проте механізм взаємодії силікату натрію з електропровідними наповнювачами, а також водостійкість таких композицій є недостатньо дослідженими. Припущено, що водостійкість композиції може бути забезпечена додаванням меленого доменного гранульованого основного шлаку, внаслідок взаємодії якого з силікатом натрію утворюватимуться кальцієві, лужні та лужноземельні цеолітоподібні алюмосилікати.

У другому розділі наведено характеристики основних матеріалів і методів досліджень. Для експериментальних досліджень з розробки складів електропровідних композицій застосовували: в'язучі речовини – розчин силікату натрію (рідке скло) з силікатним модулем 2,7, електропровідні наповнювачі – графіт змащувальний ГС-1, графіт ливарний ГЛ-1, алюмінієву пудру ПАП-1, порошки заліза, міді, цинку; отверджувачі силікату натрію – кремнійфтористий натрій Na_2SiF_6 , шлак доменний гранульований мелений ММК ім. Ілліча; добавку-суперпластифікатор – сульфонафталінформальдегід СП-1.

Фізико-механічні, гідрофізичні властивості композицій визначали стандартними методами на зразках-призмах. Адгезійні властивості композицій визначали на зразках-кубах і призмах із дрібнозернистого бетону та цементно-піщаного розчину за допомогою цифрового адгезіометра Онікс-АП. Електрофізичні властивості визначали на зразках-призмах із композиції або у покриттях із композиції на грані зразків-призм із цементно-піщаного розчину за допомогою цифрових мультиметрів Sanwa PC510, оснащених інтерфейсом з ПК. Безпосередньо вимірювали електричний опір, за величиною якого та геометричними розмірами покриття або зразка розраховували питомий електричний опір та питому електропровідність. Поляризацію композиції під час вимірювань на постійному струмі враховували через зміну полярності.

Вплив на залізобетонні конструкції електричного поля від контактного проводу та ефективність захисту від цього впливу, а також ефективність захисної дії від струмів витоку заземлених екранів із композицій досліджували за допомогою оригінальних лабораторних установок, що моделювали конструкції та експлуатаційні умови. Ефективність екранів оцінювали відносною величиною зниження сили струму крізь конструкцію за рахунок її захисту екраном.

Склад продуктів гідратації і характер їх взаємодії з електропровідним наповнювачем досліджували фізико-хімічними методами рентгенофазового аналізу (за допомогою рентгенівських дифрактометрів ДРОН-1,5 і ДРОН-3), аналізу інфрачервоних спектрів поглинання (спектрометра Specord 75IR та ІЧ-Фур'є-спектрометра BrukerAlpha), світлової мікроскопії (біокулярного мікроскопа МБС-2), скануючої електронної мікроскопії з електронно-зондовим мікроаналізом (електронного мікроскопу JEOLJSM-6390LV з енергодисперсійним спектрометром AZtechEnergy X-maxⁿ50).

У третьому розділі розвинуто уявлення про електрокорозію залізобетонних і бетонних конструкцій від ПОЕП. Розроблено детальну схему протікання струмів витоку через конструкції високих пасажирських платформ із залізобетонними стояками (рис. 1). Уточнено, що носієм струму витоку є: у ґрунті – катіони Na^+ та K^+ , у бетоні – катіони Ca^{2+} та аніони OH^- , у сталевій арматурі – електрони e^- . Визначено, що у конструкціях внаслідок впливу ПОЕП

утворюються зони, у яких відбуваються реакції корозійних процесів (рис. 1): 1) зона нейтралізації бетону – карбонізація з утворенням карбонатів; 2) катодна зона арматури – електрохімічне утворення іонів OH^- і водню H_2 ; 3) анодна зона арматури – анодне розчинення заліза і утворення $Fe(OH)_3$; 4) зона вилугування бетону – винесення із бетону катіонів Ca^{2+} та їх карбонізація на поверхні. Аналогічну схему розроблено і для платформ з бетонними опорами, у яких утворюються лише 1 і 4 зони.

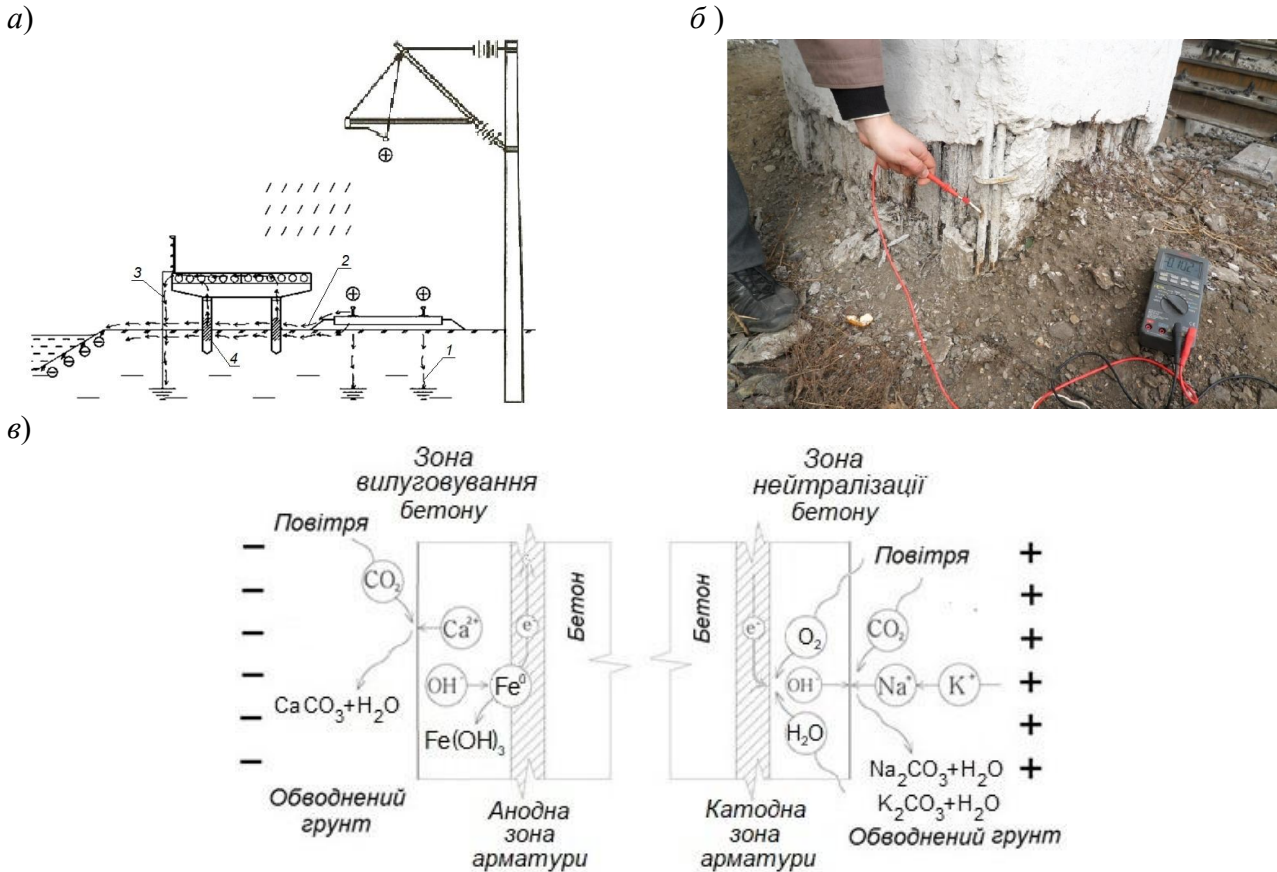


Рис. 1 Електрокорозія залізобетонних конструкцій стояків: а – схема протікання струмів витоку через конструкції високої пасажирської платформи; в – характерні електрокорозійні пошкодження стояка шляхопроводу; в – схема протікання струму крізь захисний шар бетону та його електрокорозійного вилугування; 1 – струм витоку, що переважає в суху погоду; 2 – струм витоку, що переважає у вологу погоду; 3 – струм витоку, що відводиться через заземлення; 4 – зона конструкції стояків, арматура і бетон якої уражується електрокорозією

Уточнено механізм наведення потенціалів на сталеву арматуру залізобетонних прогонових будов, під якою проходить контактна мережа постійного струму та розроблено схему протікання корозійних струмів від них. Визначено, що потенціал індукується за рахунок поляризації порового електроліту захисного шару бетону в електричному полі з розділенням зарядів: позитивного – поблизу арматури та на ній, негативного – на поверхні бетону. Внаслідок цього в бетоні захисного шару утворюється зона вилугування, а на арматурі – анодна зона згідно з рис. 1 та відбуваються відповідні електрокорозійні процеси.

Встановлено, що експлуатовані водозабірні свердловини обумовлюють розподіл на місцевості електричних зарядів і потенціалів за рахунок виникнення потенціалу течії. Ці заряди і потенціали можуть спричинити нерівномірні

деформації основ і фундаментів, тріщини і пошкодження в конструкціях будівель, розташованих над свердловинами і поблизу них.

Виконано теоретичні дослідження з підвищення водостійкості силікатних композицій шляхом уведення меленого доменного гранульованого шлаку, зокрема, термодинамічні розрахунки і розрахунки електроповерхневих потенціалів. Деякі з отриманих результатів наведені у табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Вільна енергія Гіббса ΔG реакцій взаємодії геленіту (у перерахунку на 1 молекулу C_2AS) з лужними компонентами з утворенням анальциму NAS_4H_2 та гідронефеліну NAS_2H_2

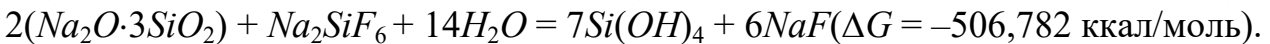
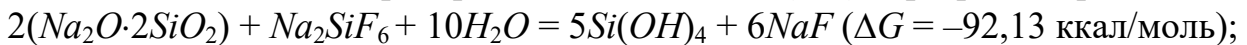
Лужний компонент	Вільна енергія Гіббса ΔG , ккал/моль, реакцій утворення основного і додаткових продуктів			
	гідронефеліну NAS_2H_2		анальциму NAS_4H_2	
	ΔG	додаткові продукти	ΔG	додаткові продукти
$NaO \cdot 2SiO_2$	-7,923	$C_2S_3H_{2,5}; Ca(OH)_2$	-3,533	$C_2AH_8; Ca(OH)_2$
$NaO \cdot 3SiO_2$	-226,694	C_6S_6H	6,528	$Ca(OH)_2$
Na_2SiF_6	-49,796	$C_3AH_6; CaSiF_6$	-7,018	$C_2AH_8; CaSiF_6; Ca(OH)_2$
NaF	-64,027	$C_3AH_6; CaF_2$	4,065	$C_2AH_8; CaF_2; Ca(OH)_2$

Таблиця 2

Електроповерхневі потенціали продуктів взаємодії силікату натрію, кремнійфториду натрію та геленіту

Сполука		Електроповерхневий потенціал, В	
Назва, позначення	Формула	абсолютний ψ^0	рівноважний ψ_p^0
Отрокремнієва кислота	$Si(OH)_4$	0,03	-0,383
Фторид натрію	NaF	-0,425	-0,838
Гідронефелін NAS_2H_2	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	0,346	-0,067
Гідроалюмінат кальцію C_3AH_6	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$	0,541	0,128
Фторид кальцію	CaF_2	1,86	1,447

За негативними значеннями вільної енергії Гіббса реакцій зроблено висновок, що у разі отвердження силікатів натрію кремнійфторидом натрію, продуктами їх взаємодії є гель ортокремнієвої кислоти $Si(OH)_4$ і фторид натрію:



Їх частинки мають негативний поверхневий заряд (табл. 2) і утворюють між собою тільки електрогетерогенні контакти (рис. 2, а), які в сухих умовах за рахунок високої концентрації порового електроліту NaF мають високу міцність, але є неводостійкими. У разі додавання меленого доменного гранульованого шлаку його мінерали типу геленіту C_2AS взаємодіють із лужними складовими, наприклад, фторидом натрію з утворенням гідронефеліну NAS_2H_2 , гідроалюмінату кальцію C_3AH_6 і фториду кальцію CaF :



Частинки C_3AH_6 і CaF_2 мають позитивний поверхневий заряд (табл. 2) і утворюють з частинками гелю $Si(OH)_4$ електрогетерогенні контакти (рис. 2, б), які забезпечують підвищення водостійкості штучного каменю.

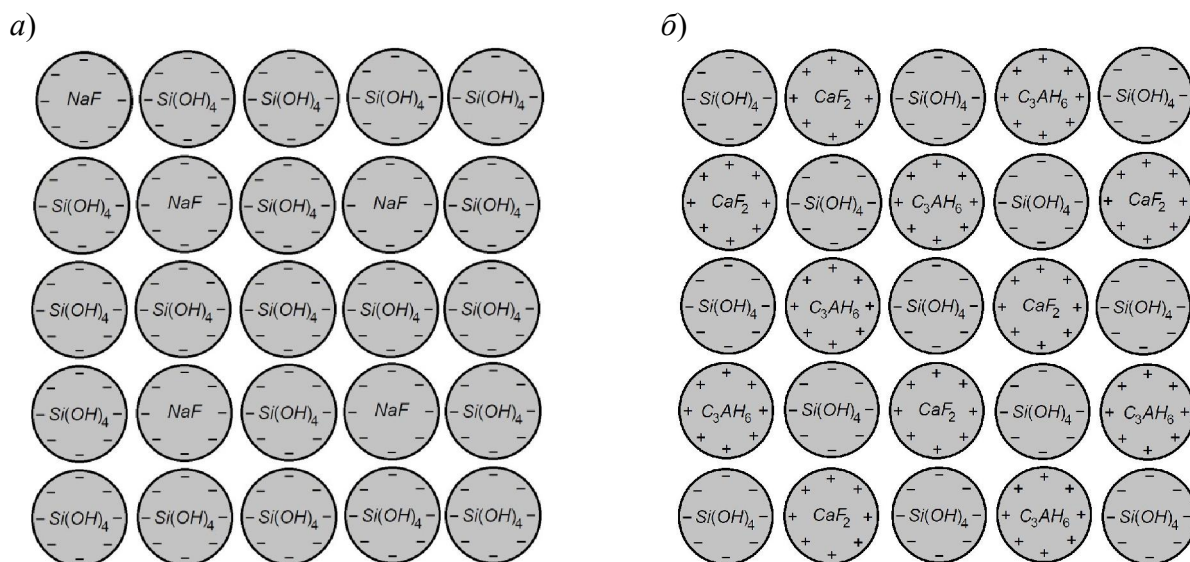


Рис. 2 Схема структури штучного каменю, отриманого внаслідок взаємодії силікату натрію і кремнійфториду натрію: *a* – без добавок; *б* – з добавкою доменного гранульованого шлаку. Всі частинки умовно показані однакового розміру

Досліджено також процес протікання електричного струму крізь силікатну композицію з графітовим наповнювачем. Встановлено, що в залежності від напрямку прикладеного електричного потенціалу поверхні частинок графіту розділяються на анодні й катодні ділянки (рис. 3, *a*). На анодних ділянках відбувається розчинення вуглецю з утворенням карбонатів, на катодних в аеробних умовах – утворення іону OH^- (рис. 3, *б*). Отже, довговічність штучного каменю буде обумовлена кількістю пропущеного частинками графіту електричного заряду (струму).

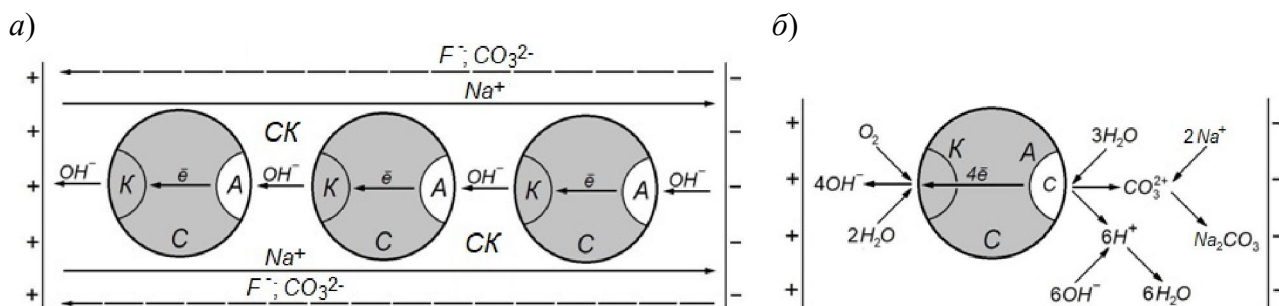


Рис. 3 Електропровідність силікатного штучного каменю СК з графітовим наповнювачем: *a* – схема протікання електричного струму: *C* – графітовий наповнювач (вуглець), *A* – анодні, *K* – катодні ділянки поверхні графіту; *б* – електрохімічні реакції на границі розподілу графіт – поровий електроліт штучного каменю в аеробних умовах

У четвертому розділі були виконані пошукові експериментальні дослідження з вибору наповнювачів для електропровідної силікатної композиції. Встановлено, що питомий електричний опір композицій із металевих наповнювачів і силікату натрію (рідкого скла) перевищує 1000 Ом \times м, а із графітових наповнювачів і силікату натрію не перевищує декількох Ом \times м, що обумовлено утворенням на поверхні металевих частинок гідроксидних плівок, які створюють високий перехідний опір на поверхнях розподілу та, відповідно, підвищують загальний опір, та відсутністю таких плівок на поверхні частинок графіту.

Перколяція композиції за електропровідністю спостерігається за вмісту графіту 50–60 % за масою від вмісту силікату натрію. Проте композиції з силікату натрію і графітових наповнювачів характеризуються недостатньою водостійкістю не більше 0,2.

Виконано експериментальні дослідження залежностей електрофізичних, гідрофізичних, фізико-механічних властивостей електропровідної силікатної композиції від відносного вмісту графітового наповнювача, силікату натрію та інших показників складу. Найважливіші з отриманих залежностей наведені на рис. 4, з яких видно, що для силікатних композицій з графітовим наповнювачем потрібні електрофізичні характеристики перебувають в антагонізмі з гідрофізичними та фізико-механічними властивостями, отже, розробка їх рецептур має здійснюватись методами компромісної оптимізації.

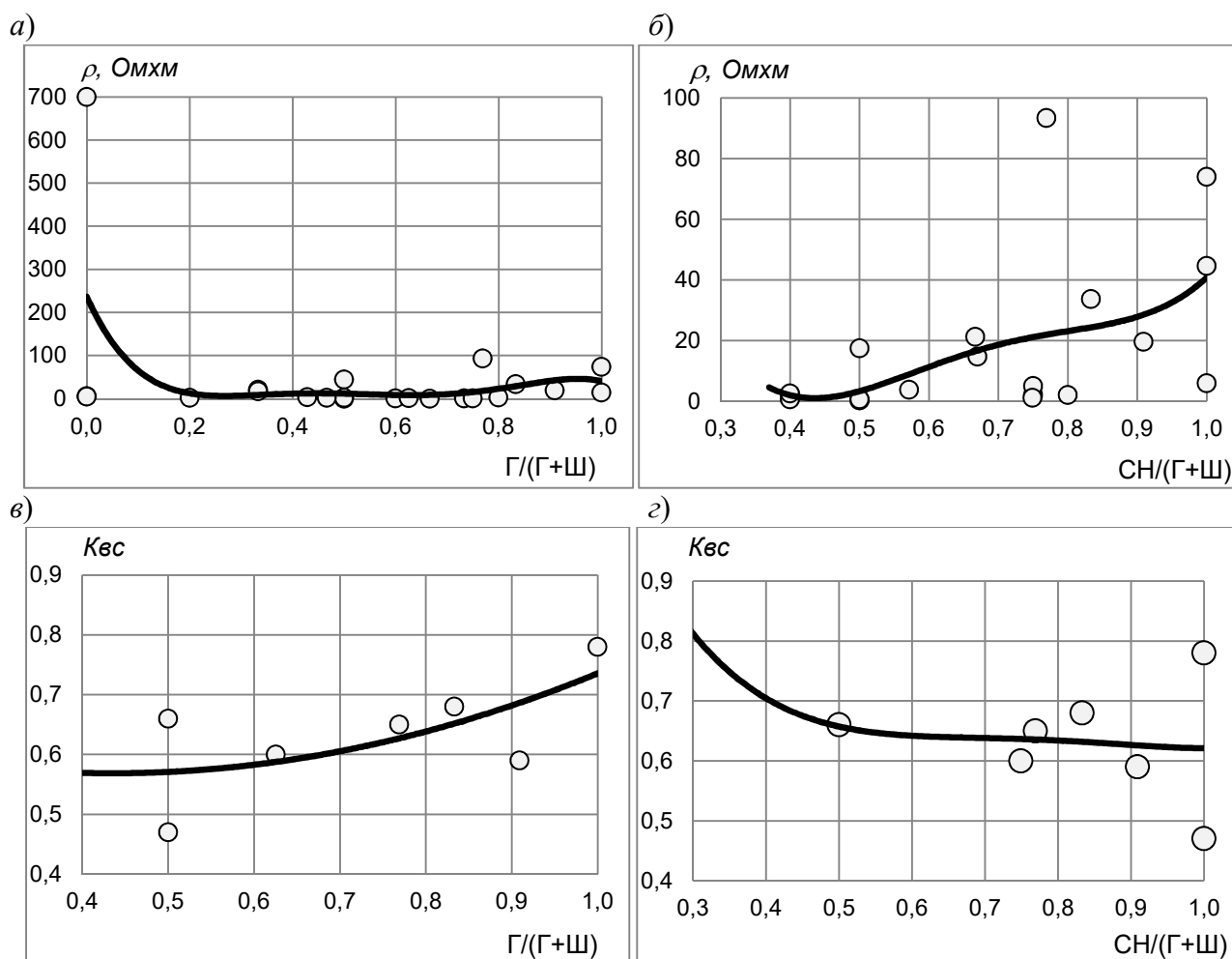


Рис. 4 Залежність питомого електричного опору ρ (а, б) та коефіцієнта водостійкості (розм'якшення) $K_{\text{вс}}$ (в, з) від показника вмісту графітового наповнювача $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$ і силікату натрію $\text{SH}/(\Gamma+\text{Ш})$

Мінімальні величини питомого електричного опору аж до 1–0,3 Ом·м спостерігаються у разі відносного вмісту графітового наповнювача $\Gamma/(\Gamma+\text{Ш})$ в межах 0,2–0,8 (рис. 4, а) та рідинно-твердого відношення – відносного вмісту силікату натрію $\text{SH}/(\Gamma+\text{Ш})$ в межах 0,4–0,6 (рис. 4, б). Водостійкість композиції в найбільшому ступені визначається рідинно-твердим відношенням $\text{SH}/(\Gamma+\text{Ш})$. Максимальні величини коефіцієнту водостійкості $K_{\text{вн}}$, що досягають 0,8,

спостерігаються за $CH/(Г+Ш) = 0,3-0,4$ (рис. 4, в). $K_{вн}$ композицій перевищує 0,6 за величин відносного вмісту графітового наповнювача у загальній кількості наповнювачів $Г/(Г+Ш)$ понад 0,7 (рис. 4, в). У композиції, що як наповнювач містить тільки графітовий порошок, під час твердіння утворюються усадкові тріщини. Уведення меленого доменного гранульованого шлаку у кількості не менше 0,1 від кількості силікату натрію запобігає утворенню усадкових тріщин. Зволоження і водонасичення силікатної композиції обумовлює зниження її питомого електричного опору, який досягає мінімальних величин через 1 годину контакту покриття із неї з водою.

З метою перевірки припущень про вплив додавання меленого доменного гранульованого шлаку на підвищення водостійкості силікатних композицій виконано фізико-хімічні дослідження. Найважливіші з отриманих ІЧ-спектрів поглинання та рентгенограм наведені на рис. 5 і 6. Аналіз ІЧ-спектрів і рентгенограм в цілому підтвердив уявлення про те, що силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію, містить гель кремнієїкислоти та фторид натрію; силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію з добавкою доменного гранульованого шлаку, – гель кремнієїкислоти, гідроалюмосилікати кальцію і натрію та гідросилікати кальцію, але не містить фторид натрію. При цьому гідроалюмосилікатів кальцію і натрію міститься менше, ніж у камені шлаку, отвердженого силікатом натрію (шлаколужного в'язучого). Хімічної взаємодії графіту з силікатом натрію та іншими компонентами композиції фізико-хімічними методами не виявлено, отже, графіт залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

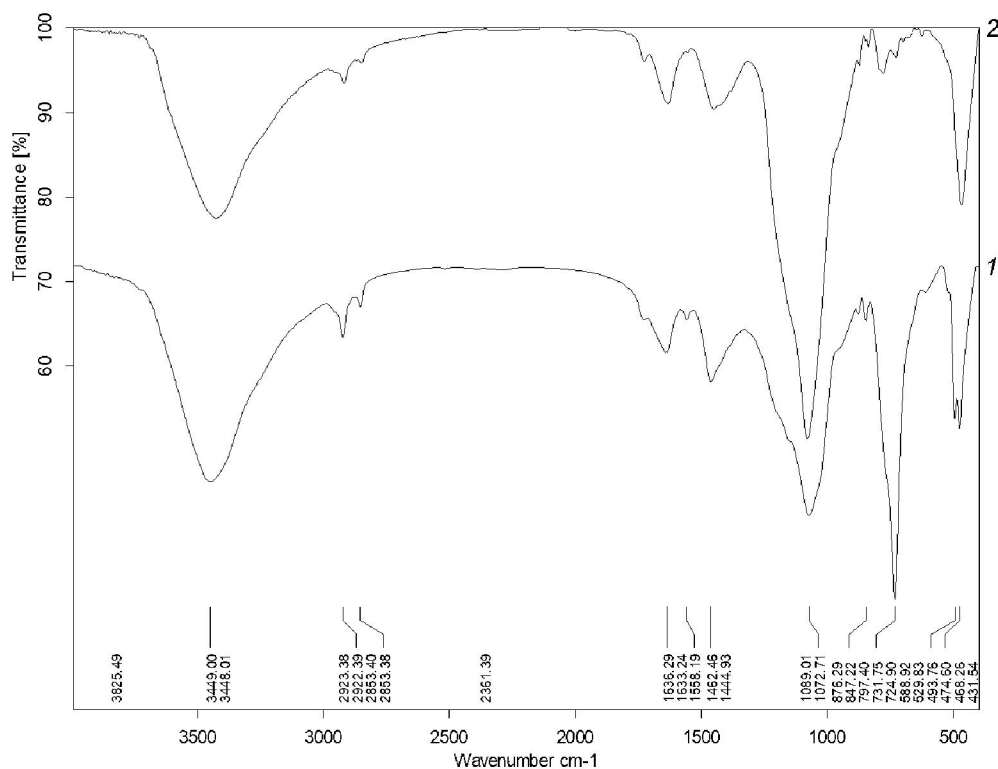


Рис. 5 ІЧ-спектри силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію: без добавок $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6$ (1); з добавками сульфонафталінформальдегіду, шлаку та графіту $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6 + SNF + S + C$ (2)

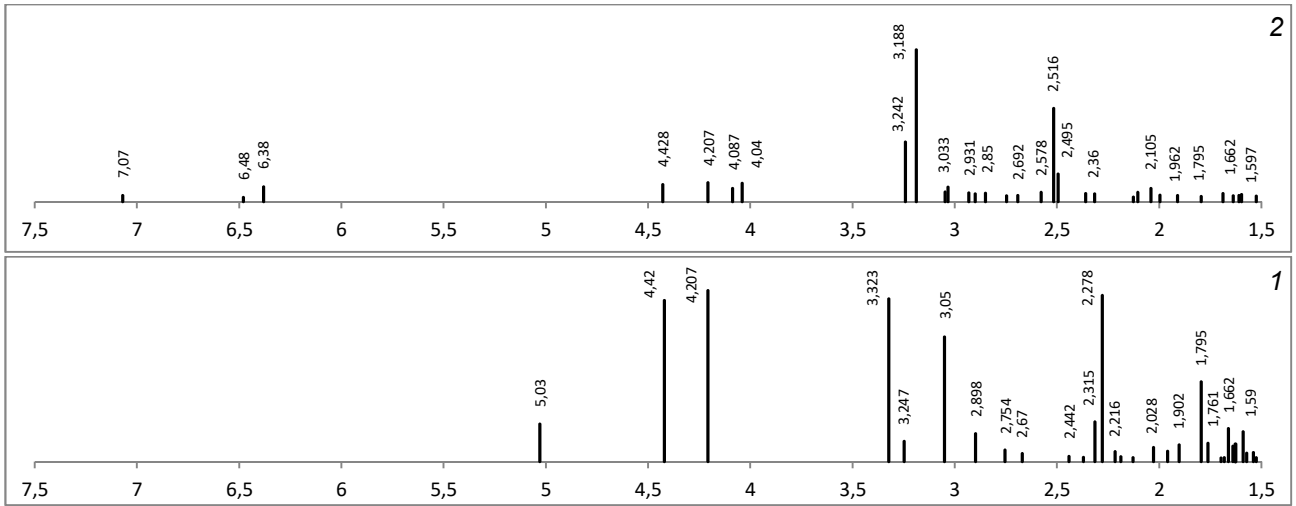


Рис. 6 Штрихграми рентенограм силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію: без добавок $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6$ (1); з добавками сульфонафталинформальдегіду, шлаку та графіту $Na_2O \cdot nSiO_2 + Na_2SiF_6 + SNF + S + C$ (2)

Скануюча електронна мікроскопія з рентгенівським мікроаналізом (рис. 7) показала, що силікат натрію, отверджений кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту, має структуру композиційного матеріалу з наповнювачем із рівномірно розподілених по поверхні частинок графіту C (29–33 % поверхні), і матрицею із продуктів взаємодії силікату натрію та кремнійфториду натрію, по якій рівномірно розподілені такі елементи, як O (45–50 %), Si (8–11 %), F (4–5 %), Na (1,4 %), Al (1,2–2 %), Ca (0,9–1,9 %), інші (менше 1 % кожний). Підтверджено, що внаслідок взаємодії силікату натрію і кремнійфториду натрію утворюються нові продукти переважно гелеподібної будови та про відсутність хімічної взаємодії силікату натрію та кремнійфториду натрію з графітом, який залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

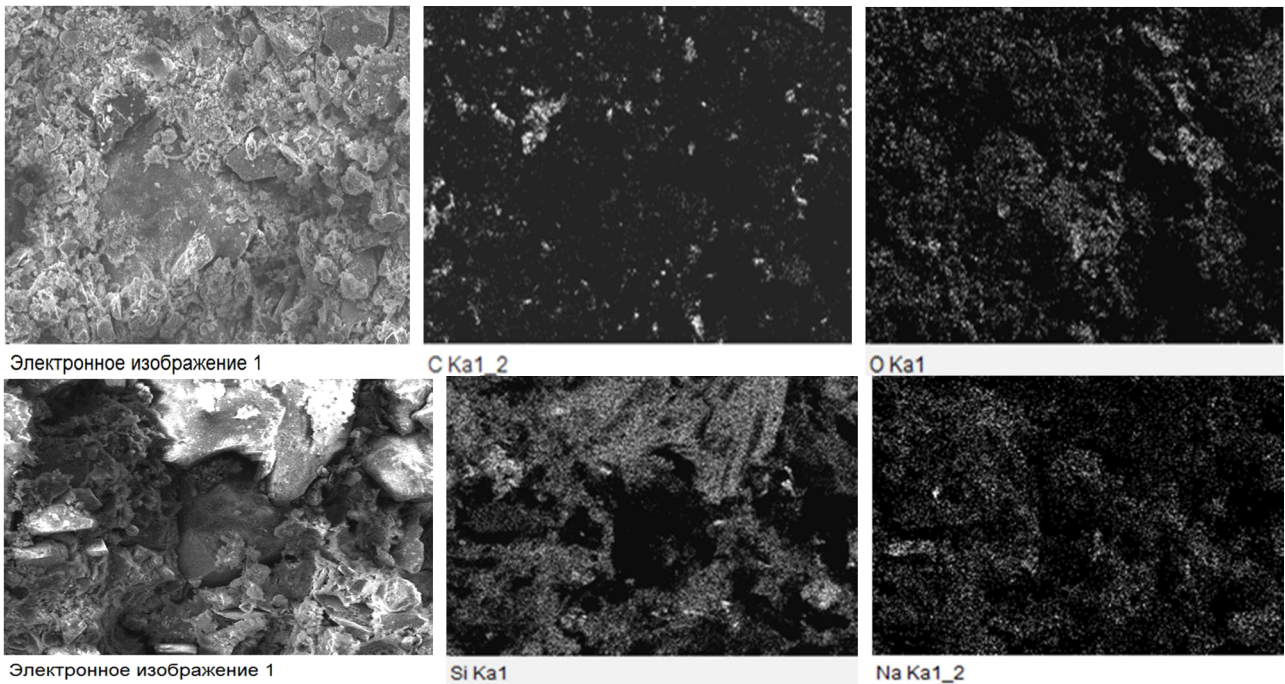


Рис. 7 Електронно-мікроскопічні знімки $\times 500$ та рентгенівські карти розподілу елементів по поверхні силікату натрію, отвердженого кремнійфторидом натрію, з добавкою графіту

В результаті експериментальних досліджень ефективності захисних екранів як заходу від електрокорозії конструкцій на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом (рис. 8), встановлено наступне.

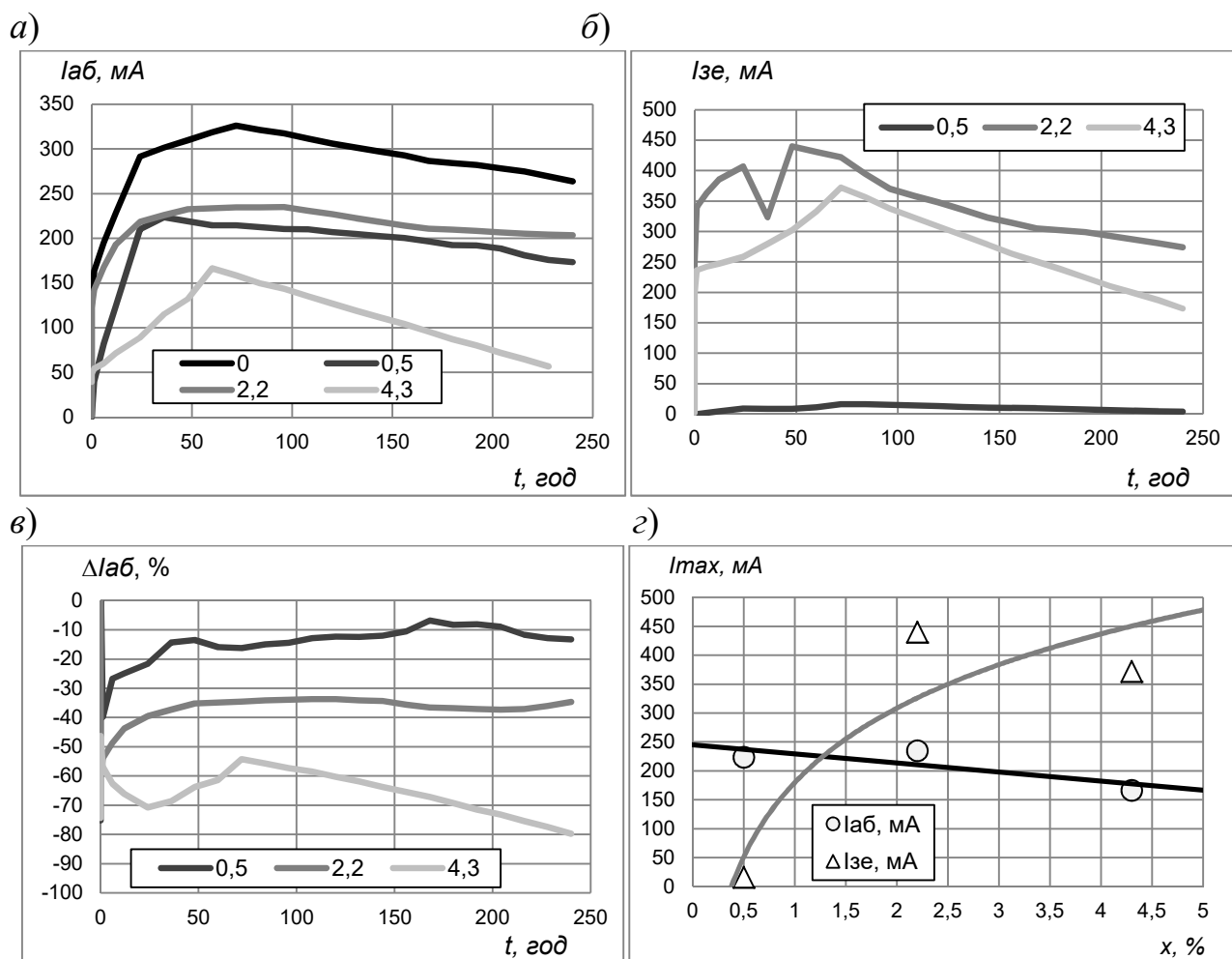


Рис. 8 Залежності показників ефективності заземлених екранів із електропровідної силікатної композиції за різних відсотків площі контакту сталевго електроду заземлення з екраном x (0 – без захисного екрану; 0,5; 2,2; 4,3): а–д – залежності сили струму крізь арматуру і бетон моделі $I_{аб}$ (а, в), сили струму крізь захисний екран $I_{зе}$ (б, г), зміни сили струму крізь арматуру і бетон моделі $\Delta I_{аб}$ від часу з моменту водонасичення ґрунту t ; е – залежності $I_{аб}$ та $I_{зе}$ від відсотку площі контакту електроду заземлення з екраном x

Для залізобетонних конструкцій, зокрема прогонових споруд, розташованих поблизу контактної мережі, застосування захисного екрану знижує величину наведеного електричним полем на арматуру потенціалу на 58 %. У разі застосування заземленого екрану потенціал майже не наводиться.

Для опор пасажирських платформ у разі сухого стану ґрунту сила струму, що стікає з рейок, крізь бетон і арматуру мінімальна як у моделі споруди без захисту, так і у моделях із захисними екранами. Після водонасичення ґрунту сила струму зростає на три порядки.

Захист заземленим екраном із електропровідної силікатної композиції забезпечує зниження сили струму $I_{аб}$ крізь бетон і арматуру моделі за рахунок протікання частини струму $I_{зе}$ крізь захисний екран.

Захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з ним – зі збільшенням цього відсотку $I_{аб}$ знижується, а $I_{зе}$ зростає. У разі застосування заземленого екрану з відсотком площі контакту електроду заземлення з ним близько 4 % сила струму крізь бетон і арматуру знижується на 65–70 %.

У п'ятому розділі наведено інформацію щодо впровадження результатів досліджень. Розроблено блок-схему моніторингово-керуючої системи технічного стану споруд, придатну для моніторингу елетрокорозійного стану конструкцій і керування заходами з їх захисту. Розроблено критерій вибору конструктивно-технологічного рішення ремонту і захисту від електрокорозії опор високих пасажирських платформ.

Розроблено склад електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу та електропровідної силікатної композиції. Розроблено технологічний регламент і технологічну схему виробництва сумішей електропровідних композицій для екранного захисту від електрокорозії. Удосконалено конструктивно-технологічне рішення захисту опори високої пасажирської платформи заземленим екраном, у т.ч. запропоновано деталь сполучення провідника заземлення з ним у вигляді поясу із смуги.

Результати досліджень впроваджено у дослідному порядку під час капітального ремонту високої пасажирської платформи на з.п. Комарівка регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». На частині опор улаштовано захист заземленими екранами із електропровідних композицій (рис. 9). Розраховано економічний ефект від впровадження результатів досліджень, який забезпечується за рахунок збільшення міжремонтного періоду і складає для однієї платформи 12,36 тис.грн./рік.



Рис. 9 Заземлені захисні екрани на бетонних опорах високої пасажирської платформи на з.п. Комарівка регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця»

За результатами досліджень розроблені нормативні документи. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі з підготування магістрів за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія у складі професійно-орієнтованих дисциплін і дипломного проектування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу літературних джерел, натурних досліджень встановлено, що по мірі руху електрорухомого складу залізничними коліями струми витоку з рейок наводять на поверхню землі та конструкції пульсуючий однонаправлений електричний потенціал ПООП і спричиняють електрокорозію арматури залізобетонних конструкцій, а також бетону, для якого вона полягає у електроміграційному вилуговуванні; показано, що найбільш ефективними для захисту від електрокорозії є заземлені електропровідні екрани на рівні нульової відмітки, які дренують струми витоку.

2. Розвинуто уявлення про електрокорозію від ПООП, зокрема, уточнено, що носієм струму витоку є: у ґрунті – катіони Na^+ та K^+ , у бетоні – катіони Ca^{2+} та аніони OH^- , у сталевій арматурі – електрони. У залізобетонних та бетонних конструкціях протікання струму супроводжується утворенням зон, в яких відбуваються корозійні процеси: зона нейтралізації (карбонізації) бетону; катодна та анодна зони арматури; зона вилуговування бетону. Наведення ПООП на залізобетонні прогонові будови від контактного проводу відбувається за рахунок поляризації порового електроліту захисного шару бетону.

3. Теоретично обґрунтовано створення електропровідних силікатних композицій для екранного захисту від електрокорозії конструкцій та споруд. Встановлено, що у силікатній композиції з графітовим наповнювачем C внаслідок накладання електричного потенціалу поверхні частинок C розділяються на анодні й катодні ділянки. На анодних ділянках відбувається розчинення C з утворенням карбонатів, на катодних в аеробних умовах – утворення іону OH^- . Довговічність композиції обумовлена кількістю пропущеної частинками C електрики. Продуктами взаємодії силікату та кремнійфториду натрію є гель ортокремнієвої кислоти $Si(OH)_4$ і фторид натрію NaF , частинки яких мають негативний поверхневий заряд і утворюють між собою неводостійкі електрогетерогенні контакти. У разі додавання меленого доменного гранульованого шлаку його сполуки взаємодіють з NaF з утворенням лужних та лужноземельних гідроалюмосилікатів, гідро алюмінату C_3AH_6 та фториду CaF_2 кальцію. Частинки C_3AH_6 і CaF_2 мають позитивний поверхневий заряд і утворюють з $Si(OH)_4$ електрогетерогенні контакти, які забезпечують підвищення водостійкості композиції.

4. Експериментально встановлено, що електрофізичні властивості композиції перебувають в антагонізмі з фізико-механічними та гідрофізичними, отже, розробка її складу має здійснюватись методами компромісної оптимізації. Питомий електричний опір композиції ρ залежить від вмісту графіту $\Gamma/(\Gamma+Ш)$ та силікату натрію $СН/(\Gamma+Ш)$; мінімальні $\rho = 0,2-1$ Ом \times м спостерігаються за $\Gamma/(\Gamma+Ш) = 0,2-0,8$ та $СН/(\Gamma+Ш) = 0,4-0,9$. Водостійкість K_v залежить від $СН/(\Gamma+Ш)$ та $\Gamma/(\Gamma+Ш)$; K_v є максимальним (до 0,8) за $СН/(\Gamma+Ш) = 0,3-1,0$ та перевищує 0,6 за $\Gamma/(\Gamma+Ш)$ понад 0,7. У композиції, що як наповнювач містить тільки C , утворюються усадкові тріщини; уведення шлаку в кількості не менше 0,1 від силікату натрію запобігає їх утворенню.

5. В результаті фізико-хімічних досліджень підтверджено, що продуктами взаємодії силікату та кремнійфториду натрію є $Si(OH)_4$ та NaF , а з добавкою

шлаку – $Si(OH)_4$, гідроалюмосилікати кальцію і натрію та гідросилікати кальцію. В результаті електронно-мікроскопічних досліджень встановлено, що композиція має структуру матричного композиту з наповнювачем із рівномірно розподіленого C і матрицею із продуктів твердіння переважно гелеподібної будови. Хімічної взаємодії C з компонентами композиції не виявлено, отже, C залишається у незв'язаному стані та зберігає електропровідність.

6. В результаті експериментальних досліджень ефективності захисних екранів із електропровідної силікатної композиції встановлено, що захист ними забезпечує зниження сили струму крізь конструкцію на 65–70 % за рахунок його протікання крізь екран. Для залізобетонних прогонових будов, під якими проходить контактна мережа, екрани знижують наведений потенціал майже до нуля.

7. Розроблено критерії вибору варіанту ремонту і захисту від електрокорозії опор високих пасажирських платформ. Розроблено та запатентовано склади електропровідної силікатної композиції та електропровідної композиції на основі портландцементу. Удосконалено конструктивно-технологічне рішення екранного захисту електропровідними композиціями, яке впроваджено під час капітального ремонту пасажирської платформи на з.п. Комарівка регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». Економічний ефект досягається за рахунок збільшення міжремонтного періоду і складає для однієї платформи 12,36 тис.грн./рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях та у виданнях, що включені до наукометричних баз:

1. Plugin A., Trykoz L., Herasymenko O., Pluhin A., Konev V. Independent diagnostic computer systems with the ability to restore operational characteristics of construction facilities. *Diagnostyka*, 2018, Vol.19, No2, p.13–23. DOI: 10.29354/diag/83009. (Особистий внесок: розроблено блок-схему функціонування системи діагностування стану з автоматичним виправленням відхилень експлуатаційних показників від встановлених величин).

2. Конєв В.В. Вдосконалені алгоритми навчання нейромережевої системи ідентифікації безпечного стану нерухомих об'єктів систем критичного застосування. *Системи обробки інформації*. – 2016, №3(140). – С. 241–245.

3. Крот О.П., Ровенський О.І., Конєв В.В. Експериментальні дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016, Вип. 166. – С.78-86. (Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження та побудова залежностей).

4. Конєв В.В., Плугин А.А. Сравнительный анализ программного обеспечения поддержки принятия решений в жизненном цикле объектов недвижимости. *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтавський національний університет ім. Ю.Кондратюка. 2016. – Вип.1(37). – С.83–85. URL: <http://sunz.pntu.edu.ua/files/archive/37-2016/23-1-37-2016.pdf>. (Особистий внесок:

виконано збір інформації і аналіз програмного забезпечення з питань експлуатації будівель та споруд).

5. Плугін, А.А., Плугін О.А., Касьянов В.В., Плугін Д.А., Конєв В.В. Дослідження заземлених екранів із електропровідних композицій як способу захисту від електрокорозії. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. – Вип. 171. – С.53–61. DOI: 10.18664/1994-7852.171.2017.111411. (Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження та аналіз їх результатів для екранів із силікатних композицій).

6. Трикоз Л.В., Конєв В.В., Плугін А.А., Чала Л.Е., Герасименко О.С., Передумови інтелектуального управління змінами експлуатаційних властивостей будівельних об'єктів за допомогою автономних комп'ютерних систем. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – Харків: УкрДУЗТ. 2017. – Вип.4. – С.36-43. DOI: 10.18664/ikszt.v0i4.111791. (Особистий внесок – розроблено блок-схему функціонування автономної системи визначення експлуатаційних показників будівель та споруд і автоматичного виправлення їх відхилень від встановлених величин).

Патенти на винаходи:

7. Пат.113600 UA МПК(2016.01) C04B28/00 C04B41/65(2006.01) C04B111/90(2006.01) C04B111/20(2006.01) C04B111/72(2006.01) Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії / УкрДУЗТ; Плугін А.А, Костюк Т.О., Прощін О.Ю., Плугін О.А., Бондаренко Д.О., Касьянов В.В., Борзяк О.С., Конєв В.В. – Заявл. 01.03.2016. – Заявка № а 2016 02005. – Опубл.10.02.2017. – Бюл.№3. – 4 с. (Особистий внесок – опрацьовано методику вимірювання електричного опору композиції і вимірювання електричного опору зразків).

8. Пат.117194 UA МПК C04B28/26(2006.01) C04B41/65(2006.01) C04B111/20(2006.01) C04B111/26(2006.01) C04B111/94(2006.01) Електропровідна шпаклювальна композиція / УкрДУЗТ; Плугін А.А., Плугін О.А., Касьянов В.В., Борзяк О.С., Конєв В.В., Савчук Ю.Ю., Костюк Т.О., Бондаренко Д.О. – Заявл.24.03.2017. – Заявка № а2017 02778. – Опубл.25.06.2018. – Бюл.№12. – 3 с. (Особистий внесок – виконано експериментальні дослідження залежності електротехнічних властивостей композиції від її складу, розроблено склад композиції).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Kasyanov V., Konev V., Plugin D., Nesterenko S., Afanasiev A. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection. *MATEC Web of Conferences*, 116, 01012. (2017). 6 p. (Особистий внесок – запропоновано показники ефективності екранів стосовно силікатних композицій, виконано експериментальні дослідження та аналіз їх результатів).

10. Конєв В.В., Плугін О.А. Виявлення цивільних будівель та споруд Південної залізниці, які можуть зазнавати негативного впливу електричних потенціалів і надлишкових зарядів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016, Вип. 160 (Додаток). – С.84–85.

(Особистий внесок – виконано узагальнення даних про будівлі та споруди, аналіз умов їх експлуатації і виявлення руйнівних впливів на них).

11. Конєв В.В., Плугін О.А., Касьянов В.В., Никитинський А.В. Дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій. *6 Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*. Харків, 19–21 квітня 2017: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.68–69. URL: http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy_aprel_2017.pdf. *(Особистий внесок – виконано експериментальні дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій і аналіз експериментальних даних).*

12. Плугін О.А., Плугін Д.А., Касьянов В.В., Конєв В.В., Скорик О.О., Никитинський А.В. Фактори, що визначають ефективність захисту від електрокорозії заземленими екранами з електропровідних в'язучих композицій. *VIII Міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*. Харків, 20–22 листопада 2019: Тези доповідей. Ч.2. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – С.188–190. URL: http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/Theses_2019_part2.pdf *(Особистий внесок - виконано експериментальні дослідження та аналіз їх результатів).*

13. Трикоз Л.В., Плугін А.А., Чалая Л.Э., Герасименко О.С., Конєв В.В. Предпосылки интеллектуального управления изменениями эксплуатационных свойств строительных объектов с помощью автономных компьютерных систем. *6 Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»*. Харків, 19–21 квітня 2017: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.184–185. URL: http://conf.kart.edu.ua/images/stories/konf-1/pdf/tezisy_aprel_2017.pdf. *(Особистий внесок – розроблено блок-схему функціонування автономної системи визначення експлуатаційних показників будівель та споруд і автоматичного виправлення їх відхилень від встановлених величин).*

14. Трикоз Л.В., Конєв В.В., Плугін А.А., Чала Л.Е., Герасименко О.С. Розробка автономних комп'ютерних систем для інтелектуального управління змінами експлуатаційних властивостей. *Тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ї міжнародної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»*. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип.4 (додаток). – С.48–49. *(Особистий внесок – розроблено блок-схему функціонування автономної системи визначення експлуатаційних показників будівель та споруд і автоматичного виправлення їх відхилень від встановлених величин).*

15. Конєв В.В. Інформаційно-вимірювальна система контролю та безпеки в розподільних електричних мережах. *Друга міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі»*. 10–12 квітня 2017р. НТУ «ХП», 2017р. Тези доповідей – С.74.

16. Конев В.В., Крот А.Ю. Использование метода Альтшуллера для разрешения технических противоречий. *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы Международной научно-технической конференции*. Могилев, 23–28 апреля 2017 г. – С.260–261. (*Особистий внесок: формулюванні суті технічних протиріч в галузі технічної експлуатації будівель і споруд*).

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

17. Крот О.П., Ровенский А.И., Конев В.В. Модернизация процессов очистки сточных вод и установленного оборудования на очистных сооружениях промывочно-пропарочных станций вагонных депо. *Вагонный парк*. – 2017, №3– 4. – С.39–43. (*Особистий внесок: оцінка агресивного впливу стічних вод та інших факторів на споруди*).

18. Крот О.П., Ровенский А.И., Конев В.В. Повышение эффективности технологий приготовления топливных смесей. *Локомотив-Информ*. 2017, №3–4, С.21–25. (*Особистий внесок: аналіз агресивного впливу органічних середовищ на споруди*).

АНОТАЦІЯ

Конєв Віталій Васильович. Електропровідна силікатна композиція для захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 Будівельні матеріали та вироби (19 Архітектура та будівництво). – Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти та науки України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена розробці електропровідної силікатної композиції і удосконаленню екранного захисту від електрокорозії залізобетонних і бетонних конструкцій на електрифікованих постійним струмом залізницях. Уточнено механізм протікання струму та електрокорозії конструкцій. Запропонована композиція із силікату та кремнійфториду натрію, електропровідність якої забезпечується графітом, а водостійкість доменним гранульованим шлаком. Її основним продуктом є гель кремнійкислоти, а водостійкість підвищується за рахунок утворення лужних та лужноземельних гідроалюмосилікатів, гідроалюмінатів та фториду кальцію, які утворюють водостійкі електрогетерогенні контакти. Визначені катодна та анодна реакції на границі розподілу між графітом і силікатним каменем, які визначають довговічність композиції. Встановлено, що електрофізичні властивості композицій перебувають в антагонізмі з гідрофізичними та фізико-механічними, отже, розробка складів вимагає застосування методів компромісної оптимізації. Визначені залежності зазначених властивостей від вмісту силікату натрію, графіту, шлаку. Визначено ефективність заземлених екранів із композиції. Розроблено та запатентовано склади композицій. Удосконалено конструктивно-технологічне рішення захисту опори високої пасажирської платформи заземленим екраном, яке впроваджено під час капітального ремонту платформи.

Ключові слова: струм витоку, електрокорозія, захист, електропровідне покриття, силікат натрію, графітовий наповнювач, силікатна композиція

ABSTRACT

Koniev, Vitalii V. Electrically conductive silicate composition for protection against electrocorrosion of railway structures.– Manuscript copyright.

Dissertation for the Candidate Degree in Engineering Science (PhD in Sci. Eng.) in specialty 05.23.05 Building Materials and Products (19 Architecture and Building).– Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the development of electrically conductive silicate composition and improvement of screen protection against electrocorrosion of reinforced concrete and concrete structures, in particular, high passenger platforms, overpasses, bridges operated on sections of railways electrified by direct current. As a result of a theoretical research author developed the view about electrocorrosion of reinforced concrete and concrete structures. Author specified a scheme and a mechanism of leakage current transmission through high passenger platforms structures, author defined 4 types of structures zones, in which electrocorrosion process reactions happen. Silicate composition, that was proposed, is consisted of sodium silicate and sodium silicon fluoride, its conductivity is provided by graphite filler, and its water resistance is provided by adding a main blast furnace granular slag. Author defined, that the main product of a hydration is a silicic acid gel, and a water resistance of this acid can raise at the expense of alkaline and alkaline earth hydroaluminosilicates, calcium hydroaluminates and calcium fluoride origination, that create water resistant electroheterogeneous contacts, when it reacts with silica gel particles. Cathode and anode electrochemical reactions, which were defined, occur on a distribution boundary between a graphite and a silicate component of the composition. Author showed, that the synthetic stone durability by an electrical conductivity will be conditioned by a quantity of an electric current, that can pass through graphite particles. As a result of an experimental research, author determined, that electrophysical characteristics of silicate compositions, which contains graphite, are in an antagonism with hydrophysical and physical and mechanical qualities. So, development of these compositions needs usage of compromise optimization methods. Author defined, that electrophysical, hydrophysical and physical and mechanical qualities of compositions depend on content of sodium silicate, graphite and slag. Author experimentally researched efficiency indicators of grounded screens, which are made of electrically conductive silicate composition. Author defined, that these screens can drain leakage currents and reduce power of current, that goes through a concrete and an armature by 70 %. Author developed conductive compositions, that were patented. Creator improved constructive and technological solution to protect supports of a high passenger platform with a grounded screen. The research results were implemented in experimental order during capital repair of the high passenger platform at the railway station of Komarivka belonging to the regional branch “The South Railway” of the JSC “Ukrainian railways”.

Keywords: leakage current, electrocorrosion, protection, electrically conductive coating, grounding, sodium silicate, graphite filler, silicate composition.

АННОТАЦИЯ

Конев В.В. Электропроводная силикатная композиция для защиты от электрокоррозии конструкций и сооружений железных дорог. - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 Строительные материалы и изделия (19 Архитектура и строительство). – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена разработке электропроводной силикатной композиции и совершенствованию экранной защиты от электрокоррозии, в т.ч. токами утечки, железобетонных и бетонных конструкций на электрифицированных постоянным током железных дорогах. Уточнен механизм протекания тока и электрокоррозии конструкций. Предложена композиция из силиката и кремнефторида натрия, электропроводность которой обеспечивается графитом, а водостойкость доменным гранулированным шлаком. Ее основным продуктом является гель кремнекислоты, а водостойкость повышается за счет образования щелочных и щелочно-земельных гидроалюмосиликатов, гидроалюминатов и фторида кальция, которые образуют водостойкие электрогетерогенные контакты. Определены катодная и анодная реакции на границе раздела между графитом и силикатным камнем, которые определяют долговечность композиции. Установлено, что электрофизические свойства композиций находятся в антагонизме с гидрофизическими и физико-механическими, следовательно, разработка составов требует применения методов компромиссной оптимизации. Определены зависимости свойств от содержания силиката натрия, графита, шлака. Определена эффективность заземленных экранов из композиции. Разработаны и запатентованы составы композиций. Усовершенствовано конструктивно-технологическое решение защиты опоры высокой пассажирской платформы заземленным экраном, которое внедрено во время капитального ремонта платформы.

Ключевые слова: ток утечки, электрокоррозия, защита, электропроводное покрытие, силикат натрия, графитовый наполнитель, силикатная композиция.

Конєв Віталій Васильович

**ЕЛЕКТРОПРОВІДНА СИЛКАТНА КОМПОЗИЦІЯ
ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ
КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеню
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск
Партала Н.М.

Підписано до друку 16.03.2021 р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 110 прим. Зам. № 129

Надруковано у Харківській друкарні Південної залізниці
м. Харків, вул. Євгена Котляра, 7
Тел. 057 7243029