

УДК 691.55:699.822:699.887

DOI: 10.30838/P.CMM.2415.200418.151.23

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ І РЕМОНТУ КОНСТРУКЦІЙ ТА СПОРУД ЗАЛІЗНИЦЬ

КАСЬЯНОВ В. В.¹, *м.н.с.*,
ПЛУГІН А.А.² *д.т.н., проф.*

¹ кафедра Будівельних матеріалів, конструкцій і споруд, Український державний університет залізничного транспорту, вул майдан Фейєрбаха, 7, 61050, Харків, Україна, тел. +38 (057) 730-20-69, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3506-5982

² кафедра Будівельних матеріалів, конструкцій і споруд, Український державний університет залізничного транспорту, вул майдан Фейєрбаха, 7, 61050, Харків, Україна, тел. +38 (057) 730-20-69, e-mail: plugin_aa@kart.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6941-2076

Анотація. Мета. Розробка електропровідного складу на основі портландцементу для ремонту і екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць. **Методика.** Електричні характеристики покриттів і їх ефективність (спосібність знижувати струми, що протікають через конструкцію) досліджували за допомогою оригінальних авторських методик і лабораторних установок. **Результати.** Розглянуто розчини з низьким електричним опором, які потенційно здатні захистити від руйнівної дії надлишкового електричного заряду шляхом зменшення струмів витоку через матеріал конструкції. **Наукова новизна.** Встановлено експериментальні залежності міцності та електричних характеристик графітонаповнених композицій проникної дії від їх складу; інтервали витрати компонентів, в межах яких досягаються найкращі показники електропровідності та технологічності. **Практична значимість.** За результатами досліджень розроблено та впроваджено графітонаповнену композицію для захисту будівель і споруд залізничного транспорту від електрокорозії. Розроблена технологія приготування композиції і захисту нею конструкцій із бетону та кам'яної кладки. Результати досліджень впроваджені у розробленні конструктивно-технологічних рішень з відновлення експлуатаційних властивостей і захисту від корозії будівель станційних комплексів Південної залізниці.

Ключові слова: портландцемент, електропровідний наповнювач, електропровідна композиція, питомий електричний опір, електрокорозія, захист

ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ И РЕМОНТА КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

КАСЬЯНОВ В. В.¹, *м.н.с.*,
ПЛУГІН А.А.² *д.т.н., проф.*

¹ кафедра строительных материалов, конструкций и сооружений, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейєрбаха, 7, 61050, Харьков, Украина, тел. +38 (057) 730-20-69, e-mail: kasyanow.vladimir@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3506-5982

² кафедра строительных материалов, конструкций и сооружений, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейєрбаха, 7, 61050, Харьков, Украина, тел. +38 (057) 730-20-69, e-mail: plugin_aa@kart.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6941-2076

Аннотация. Цель. Разработка электропроводящего состава на основе портландцемента для ремонта и экранной защиты от электрокоррозии конструкций и сооружений железных дорог. **Методика.** Электрические характеристики покрытий и их эффективность (способность снижать токи, протекающие через конструкцию) исследовали с помощью оригинальных авторских методик и лабораторных установок. **Результаты.** Рассмотрены растворы с низким электрическим сопротивлением, которые потенциально способны защитить от разрушительного воздействия избыточного электрического заряда путем уменьшения токов утечки через материал конструкции. **Научная новизна.** Установлено экспериментальные зависимости прочности и электрических характеристик графитонаполненных композиций проникающего действия от их состава; интервалы расхода компонентов, в пределах которых достигаются лучшие показатели электропроводности и технологичности. **Практическая значимость.** По результатам исследований разработаны и внедрены графитонаполненные композиции для защиты зданий и сооружений железнодорожного транспорта от электрокоррозии. Разработана технология приготовления композиции и защиты конструкций из бетона и каменной кладки. Результаты исследований внедрены в

разработке конструктивно-технологических решений по восстановлению эксплуатационных свойств и защиты от коррозии зданий станционных комплексов Южной железной дороги.

Ключевые слова: портландцемент, электропроводящий наполнитель, электропроводящая композиция, удельное электрическое сопротивление, электрокоррозия, защита

ELECTROCONDUCTIVE COATING BASED ON PORTLANDCEMENT FOR ELECTRIC CORROSION PROTECTION AND REPAIR OF CONSTRUCTIONS AND FACILITIES OF RAILWAYS

KASYANOV V.V.¹. *Junior researcher*,
PLUGIN A.A.² *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

Annotation. Purpose. Development of conductive warehouse on the basis of Portland cement for repair and screen protection against electric corrosion of constructions and structures of railways. **Methodology.** The electrical characteristics of the coatings and their efficiency (the ability to reduce the currents flowing through the design) were investigated using original author's techniques and laboratory settings. **Findings. Solutions with low electric resistance are considered, which are potentially able to protect against the destructive effect of excess electric charge by reducing the leakage currents through the construction material. Originality.** Experimental dependences of strength and electric characteristics of graphite-filled compositions of permeable action on their composition are established; intervals of component costs, within which achieve the best performance and feasibility. **Practical value.** According to research results, a graphite-filled composition for the protection of buildings and structures of railway transport from electro-corrosion has been developed and implemented. The technology of preparing the composition and protecting it from concrete and masonry construction is developed. The research results are introduced in the development of structural and technological solutions for the restoration of operational properties and protection against corrosion of buildings of the station complexes of the Southern Railway.

Keywords: portland cement, conductive filler, conductive composition, specific electrical resistance, electro corrosion, protection

Вступ

В результаті різних природних і антропогенних факторів – підвищених механічних (статичних і динамічних), а також електричних впливів, пов'язаних з рухом поїздів на залізницях, в першу чергу на електричній тязі, деякі конструкції будівель і споруд прискорено зношуються. Пошкодження зазнають головним чином бетонні, залізобетонні, кам'яні конструкції будівель та споруд, що експлуатуються поблизу електрифікованих постійним струмом залізничних колій. Електричні струми витоку з рейок, потрапляючи на такі конструкції, призводять не тільки до прискореного електрокорозійного вилигування бетону та розчину, а й до виникнення тріщин, обумовлених накопиченням надлишкового електричного заряду в них. Найбільш інтенсивно це відбувається у разі обводненого стану бетону і розчину конструкцій, таких як опори пасажирських платформ та пішохідних мостів, цоколі станційних будівель тощо під час атмосферних опадів, сніготанення.

Як свідчать численні обстеження будівель і споруд, під час експлуатації від впливу зазначених руйнівних факторів багато з них приходять в незадовільний стан [1], створюють загрозу безпеці руху поїздів і пасажирів та потребують відновлення експлуатаційних властивостей. Традиційні способи відновлення експлуатаційних властивостей, зокрема, втрачених перерізів, ремонтними сумішами на основі мінеральних в'язучих не забезпечують захисту від цих руйнівних факторів у подальшому. Тому

дослідження, спрямовані на розроблення нових ремонтних сумішей, які б забезпечили не тільки відновлення експлуатаційних властивостей конструкцій, а й відведення від них струмів витоку, є актуальними.

Мета

Розробка електропровідного складу на основі портландцементу для ремонту і екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць.

Матеріали

В експериментальних дослідженнях і для розробки електропровідних композицій застосовували: в'язучі речовини – портландцемент ПЦ І-500Н, ПЦ П-Б/Ш-400; добавку-суперпластифікатор – сульфонафтальінформальдегід СП-1 (С-3); добавки-електроліти: нітрат натрію $NaNO_3$, сульфат натрію Na_2SO_4 , содукальціновану Na_2CO_3 , нітрат кальцію $Ca(NO_3)_2$, хлорид кальцію $CaCl_2$, гідроксид кальцію $Ca(OH)_2$; перетворювач іржі; інгібітор корозії сталі; пісок кварцовий з модулем крупності 1–1,2; електропровідні наповнювачі – графітові порошки: змащувальний марки ГС-1 ГОСТ 8295, ливарний ГЛ-1 ГОСТ 5279, змелений грудковий.

Методи і результати досліджень

Проаналізовано механізми корозії та електрокорозії бетонних, залізобетонних, кам'яних

конструкцій. Незважаючи на значну кількість опублікованих робіт, фундаментальних досліджень і відповідних теоретичних уявлень про захист від руйнівного впливу струмів витоку і блукаючих струмів на конструкції будівель і споруд залізничного транспорту опубліковано мало [2]. Для забезпечення довговічності бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій в умовах обводнення і постійного струму витоку відібрані найбільш прийнятні уявлення, які дають змогу розкрити дійсний механізм електрокорозійного руйнування. Проаналізовано існуюче нормування електрокорозійної небезпеки і захисту залізобетонних конструкцій на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом [3]. За результатами виконаних обстежень великої кількості будівель і споруд залізниць України зроблено висновок, що норми недооцінюють дійсну електрокорозійну небезпеку в умовах обводнення.

У проаналізованих умовах експлуатації важливою якістю для захисного матеріалу є його низький електричний опір, що забезпечує захист від струмів витоку [4], які, протікаючи конструкціями, обумовлюють електрокорозію, тріщиноутворення внаслідок накопичення надлишкових зарядів. Розглянуто розчини з низьким електричним опором, які потенційно здатні захистити від руйнівної дії надлишкового електричного заряду шляхом зменшення струмів витоку через матеріал конструкції. Висунута робоча гіпотеза про захист конструкцій від струмів витоку шляхом нанесення на них покриття з електропровідних композицій на основі мінеральних в'язучих, що мають низький електричний опір, високі показники водостійкості та електрокорозійної стійкості, та їх заземлення.

Залежності фізико-механічних та електрофізичних властивостей розроблених складів від вмісту комплексної хімічної добавки і електропровідного наповнювача визначали прямим експериментом, варіюючи вміст добавки і наповнювача і визначаючи для кожного складу ці властивості [5].

Питомий електричний опір ρ та питому електропровідність σ визначали на таких же покриттях за величинами напруги U , В та сили струму I , А, виміряних на таких же покриттях цифровими мультиметрами Sanwa PC510 за оригінальною схемою, наведеною на рис. 1:

На прикладі високих пасажирських платформ розроблено принципову схему конструктивно-технологічного рішення ремонту і захисту конструкцій заземленими екранами – штукатурними покриттями із електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу. Розроблені схеми протікання струмів крізь екрани і заземлення наведені на рис. 2.

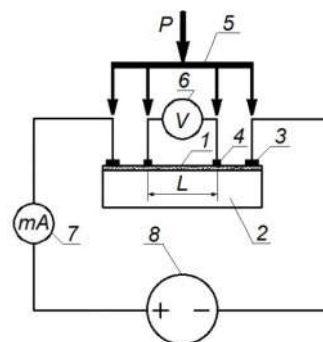


Рис. 1. Схема установки для вимірювання електричного опору електропровідних покриттів: 1 – покриття; 2 – зразок із цементно-піщаною розчином; 3, 4 – накладні електроди (пластини із неіржавіючої сталі, що накладаються на покриття через прокладки із синтетичного нетканого матеріалу товщиною 1,5–2 мм, просочені насиченим розчином мідного купоросу, розміром 40×20 мм (3) для вимірювання сили струму, 40×5 мм для вимірювання напруги (4); 5 – порталне пристосування для притискування електродів загальним зусиллям $P = 5$ Н; 6 – вольтметр; 7 – міліамперметр; 8 – джерело живлення

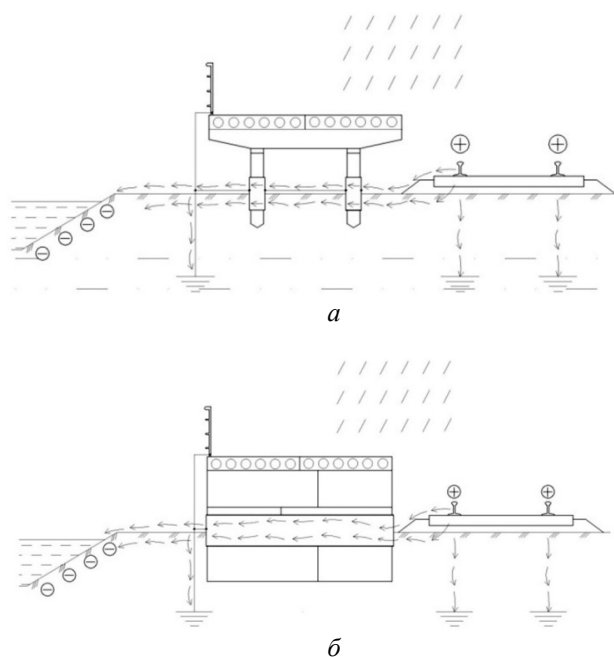


Рис. 2. Схема протікання струму витоку з рейок через захищені заземленими екранами конструкції високих пасажирських платформ з опорами із залізобетонних стояків і ригелів (а) та бетонних блоків (б)

У складі розробки електропровідних композицій проникної дії на основі портландцементу для захисту від електрокорозії виконано теоретичні дослідження впливу структури на їх електрофізичні властивості [6–8], зокрема, питомий електричний опір. Для

досліджень та опису кількісних закономірностей структуру умовно представлено просторовою геометричною моделлю з регулярним розташуванням кулеподібних структуроутворюючих елементів – частинок наповнювача однакового діаметру. Схема структури такої композиції наведена на рис. 5, а, а схема її умовної просторової елементарної комірки, що складається з однієї частинки наповнювача середнім розміром (діаметром) d , м, оточеної з трьох боків у просторі матрицею з середньою товщиною в місцях максимального наближення частинок наповнювача δ , м, та протікання крізь неї електричного струму – на рис. 5, б, в. Як бачимо із рис. 5, б, в, загальний електричний струм I , що протікає крізь умовну елементарну комірку, розділяється на струми, які протікають крізь частинку наповнювача (I_H) і прошарки між частинками наповнювача – поперечний (I_M^n) і подовжній ($I_M^{пд}$) напрямку струму.

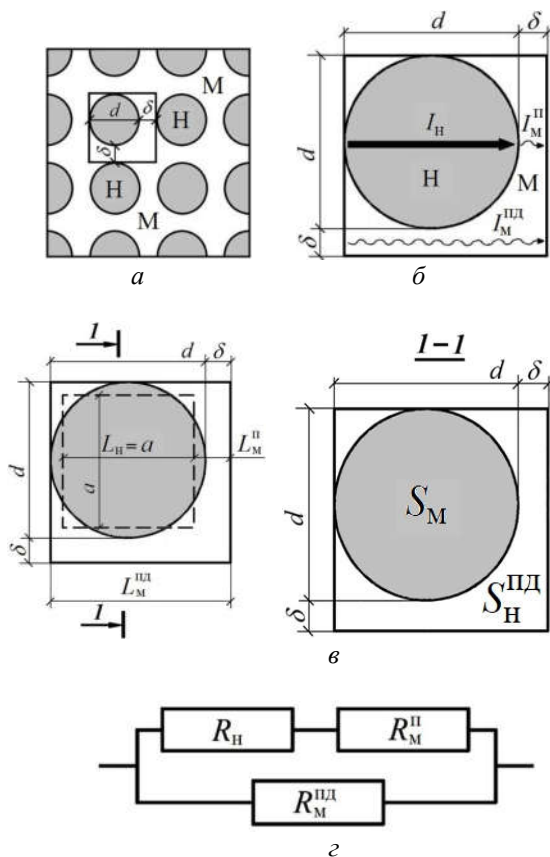


Рис. 3. Схема формування електричного опору композиційного матеріалу: а – схема структури композиційного матеріалу; б – схема умовної елементарної комірки композиційного матеріалу і протікання струму крізь неї; в – еквівалентна схема умовної елементарної комірки композиційного матеріалу і протікання електричного струму крізь неї; г – еквівалентна схема електричного опору елементарної комірки композиційного матеріалу; Н – наповнювач; М – матриця

З цієї моделі протікання струму крізь елементарну комірку отримано рівняння залежності питомої

електропровідності композиції $1/\rho_k$ та, отже, і її питомого електричного опору ρ_k від d , δ та питомого електричного опору наповнювача ρ_H та матриці ρ_M :

$$\frac{1}{\rho_k} = \frac{1}{d + \delta} \left(\frac{1}{R_H + R_M^n} + \frac{1}{R_M^{пд}} \right) \cdot \frac{C_M}{M}, \quad (2)$$

де

$$R_H = \frac{\rho_H}{0,806d}; \quad R_M^n = \frac{\rho_M(0,194d + \delta)}{0,649d^2};$$

$$R_M^{пд} = \frac{\rho_M(d + \delta)}{0,351d^2 + 2d\delta + \delta^2}, \text{ Ом}; \quad (3)$$

$$\delta = d[\sqrt[3]{\Pi_H(\eta - 1) + 1} - 1], \text{ м}; \quad (4)$$

$$\eta = \frac{V_M}{V_H} = \frac{\frac{\Pi}{\rho_H} \cdot \frac{1}{\rho_H} + \frac{1}{\rho_H} + \frac{V}{\Pi} \cdot \frac{1}{\rho_H}}{\frac{H}{\Pi} \cdot \frac{\Pi_H}{\rho_H^c}}, \quad (5)$$

Де V_M і V_H – відповідно, об’єм матриці та об’єм пустот між структуроутворюючими елементами (частинками наповнювача) в ущільненому стані в одиниці об’єму композиту [9], м³; Π/ρ_H , V/ρ_H , H/ρ_H^c – кількісне співвідношення за масою відповідних компонентів композиції – піску Π , води V , електропровідного наповнювача H ; ρ_H , ρ_H , ρ_H , ρ_H – істинна густина, відповідно, піску, цементу, води, наповнювача, кг/м³; ρ_H^c – середня густина наповнювача в ущільненому стані (аналог насипної густини заповнювачів бетону), кг/м³; $\Pi_H = 1 - \rho_H^c/\rho_H$ – пористість упаковки частинок електропровідного наповнювача в ущільненому стані (аналог пористості заповнювачів бетону).

За рівняннями (4), (2) для величин $\Pi_H = 0,65$, $d = 1 \times 10^{-4}$ м, $\rho_H = 0,8 \times 10^{-5}$ Ом×м, $\rho_M = 50$ і 100 Ом×м досліджено залежність питомого електричного опору композиції на основі портландцементу з КХД і графітовим наповнювачем від основної структурної характеристики матричних композитів – коефіцієнту розсунення частинок наповнювача матрицею (ненаповненою цементною композицією) η у діапазоні значень η від 1 до 3 (рис. 4).

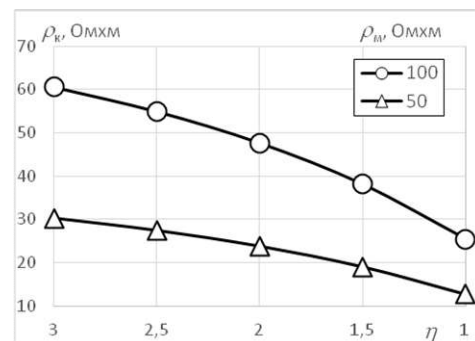


Рис. 4 Теоретична залежність питомого електричного опору ρ_k композиції на основі портландцементу з КХД і графітовим наповнювачем від коефіцієнту розсунення частинок графітового наповнювача η матрицею

Досліджено залежності фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей цементних композицій з КХД різного складу (власної рецептури та Віатрон-4™) на різних марках графітового порошку (ГС-1 та ГЛ-1) від вмісту графітового наповнювача. Отримані залежності наведені на рис. 5.

Аналіз рис. 5 показує, що зі збільшенням вмісту графітового наповнювача від 0 до 10–15 % від маси цементної композиції величина питомого електричного опору знижується. Подальше збільшення ГН/ЦК не забезпечує суттєвого зниження електричного опору. Найбільше зниження електричного опору забезпечує графіт марки ГЛ-1. Проте збільшення вмісту графітового наповнювача, особливо марки ГЛ-1 (внаслідок лускатої структури його зерен), обумовлює зниження міцності, водостійкості, водопоглинання за масою композиції.

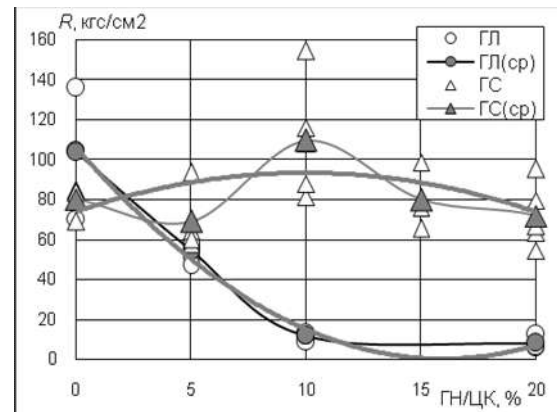
Для дослідження ефективності екранів для захисту від електрокорозії із розробленої композиції розроблено оригінальну методику експериментального дослідження [10], яка полягає у порівнянні величини сили струму, що протікає крізь арматуру і бетон моделі споруди без захисного екрану I_{a60} і моделі споруди із захисним екраном I_{a61} . За показник ефективності екрану приймали величину зниження сили струму крізь бетон і арматуру моделі із захистом I_{a61} у порівнянні з моделлю без захисту I_{a60} :

$$\Delta I = (I_{a61} - I_{a60}) / I_{a60} \times 100 \% \quad (6)$$

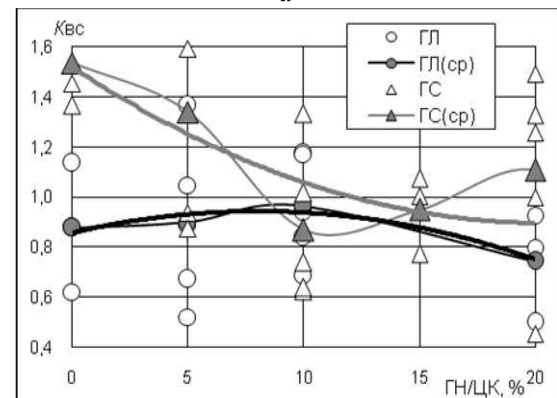
Моделі споруди розробили на основі аналізу протікання через конструкції пасажирських платформ струмів витoku з рейкової колії на ділянках з позитивним потенціалом на рейках без захисту та із заземленими екранами – покриттями (рис. 2). Як видно із рисунків, у дощову погоду струми витoku протікають крізь бетон, арматуру і заземлення платформи без захисту, а з екраном – крізь екран і заземлення, оминаючи бетон і арматуру (або мінімізуючись у них).

Дослідження здійснювали за допомогою оригінальної експериментальної установки (рис. 8). Установка складається із моделі споруди – призми із важкого бетону з міцністю на стиск 20 МПа, у яку забетонований стержень із арматурної сталі з випуском уверх. Бетон моделі відповідає бетону споруди між її гранями або бетону захисного шару між заземленою арматурою і гранню споруди [10]. Цю модель – призму встановлювали у модель зволоженого ґрунту – дуже дрібний пісок, засипаний у металеву ємкість. Струм, який натікає на споруду від джерел постійного струму, наприклад, електрифікованої рейкової колії, створювали (моделювали) прикладанням різниці потенціалів 40 В між ємкістю та арматурним стержнем у призмі, а його силу визначали за допомогою увімкнутих у ланцюг амперметрів (цифрових мультиметрів Sanwa PC510) 8 і 9 [11].

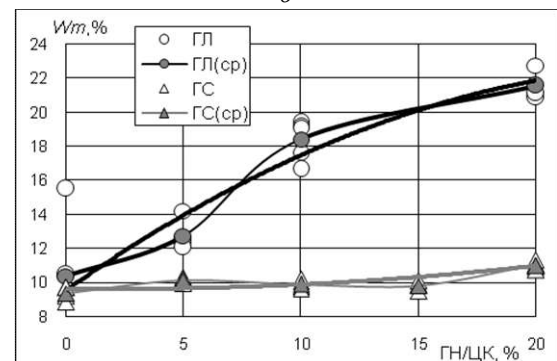
Відсоток площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном – покриттям x , який змінювали



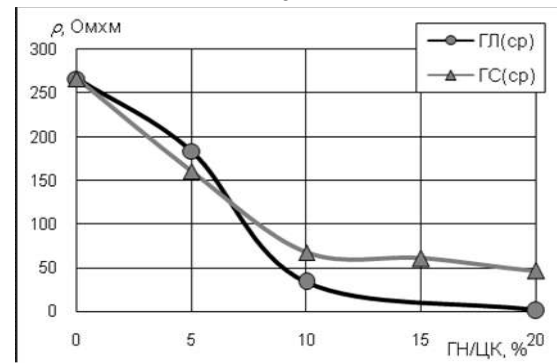
а



б



в



г

Рис. 5. Залежності міцності на стиск R , коефіцієнту розм'якшення (водостійкості) $K_{вс}$, водопоглинання за масою W_m , питомого електричного опору ρ композиції на основі портландцементу з КХД і графітовим наповнювачем марок ГС-1 і ГЛ-1 від вмісту графітового наповнювача ГН/ЦК, % за масою

під час дослідження [12-14], визначали як відношення площі контакту сталевго електроду з екраном покриттям S_{e3} до площі всього екрану - покриття S_{en} (рис. 8, б):

$$x = S_{e3}/S_{en} \times 100 \% \quad (7)$$

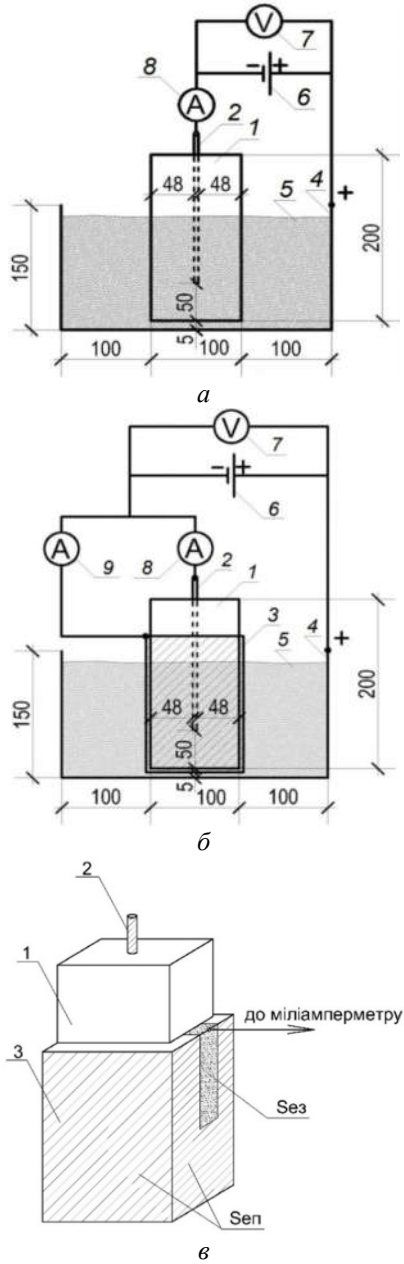


Рис. 6. Схеми установки для експериментального дослідження ефективності екранів із електропровідних композицій: а – з контрольним зразком (моделлю споруди) без екрану; б – з досліджуваним зразком (моделлю споруди) з екраном із електропровідної композиції; в – приєднання до екрану провідника заземлення; 1 – бетон моделі; 2 – арматурний стержень моделі; 3 – захисний екран (покриття); 4 –металева ємкість; 5 – зволожуваний пісок; 6 – джерело струму; 7 – вольтметр; 8 – міліамперметр для вимірювання сили струму крізь бетон і арматуру $I_{аб}$; 9 – міліамперметр для вимірювання сили струму крізь захисний екран і ґрунт $I_{зе}$

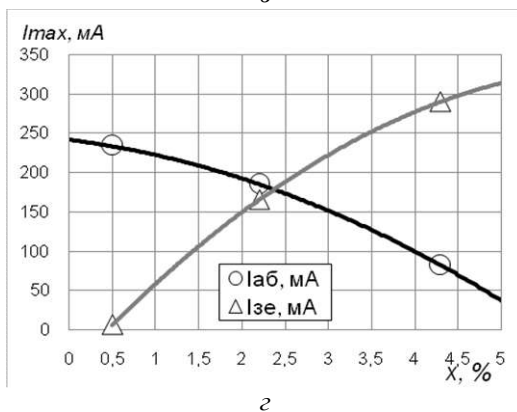
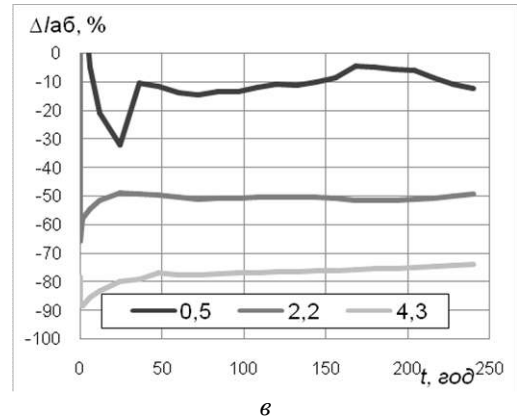
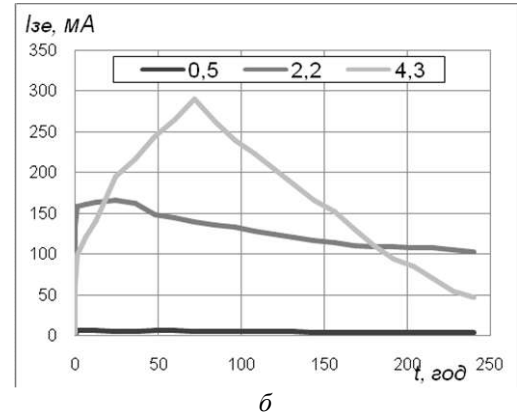
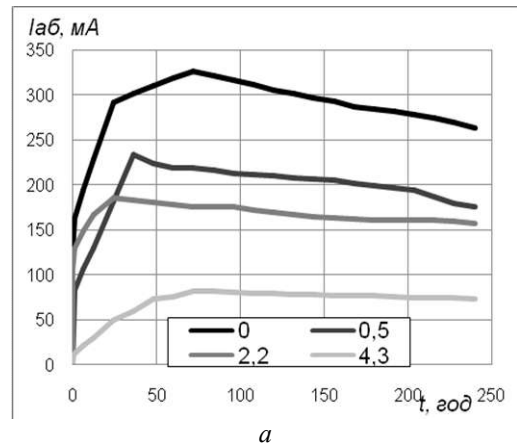


Рис. 7. Залежності показників ефективності заземлених екранів із електропровідної композиції на основі портландцементу за різних відсотків площі контакту сталевго електроду заземлення з екраном x (0 - без захисного екрану; 0,5; 2,2; 4,3): а-в - залежності сили струму крізь арматуру і бетон

моделі $I_{аб}$ (в), сили струму крізь захисний екран $I_{зе}$ (г), зміни сили струму крізь арматуру і бетон моделі $\Delta R_{аб}$ від часу з моменту водонасичення ґрунту t ; z -залежності $I_{аб}$ та $I_{зе}$ від відсотку площі контакту електроду заземлення з екраном x

Вимірювання починали за сухого стану ґрунту, потім його водонасичували та продовжували вимірювання протягом 240 годин з періодичністю, спочатку 1 годину, потім 6, 12 і 24 години. Результати представляли у вигляді графіків залежності сили струму крізь бетон і арматуру $I_{аб}$, сили струму крізь захисний екран $I_{зе}$ та величини зниження сили струму через бетон і арматуру моделі із захистом порівняно з моделлю без захисту ΔI від часу t . Фіксацію сили струму проводили протягом тривалого часу за допомогою цифрового мультиметра (Sanwa PC500, Японія), ПК і ПЗ PC Link. Результати досліджень представлені на рис. 9.

Як бачимо із рис. 6, у разі сухого стану ґрунту (на початку експерименту за $t = 0$) сила струму $I_{аб}$ і $I_{зе}$ мінімальна як у моделі споруди без захисту [15], так і у моделі із захисним екраном. Після водонасичення ґрунту сила струму зростає на три порядки. Встановлено, що захист заземленим екраном забезпечує зниження сили струму крізь бетон і арматуру моделі $I_{аб}$ (рис. 7, а, в, д) за рахунок протікання частини струму $I_{зе}$ крізь захисний екран (рис. 8, б, г, д). У порівнянні з моделлю без захисту величина струму, що протікає крізь неї [16], менше на 49-66 %. Встановлено, що захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевго електроду заземлення з ним – зі збільшенням цього відсотку сила струму $I_{аб}$ знижується, а $I_{зе}$ зростає (рис. 7, е). За відсотком площі контакту електроду заземлення з екраном $x = 0,5$ % сила струму $I_{аб}$ знижується на $\Delta R_{аб} = 10-15$ %, $x = 2,2$ % - на 50-55 %, $x = 4,3$ % - на 75-80 %, Це підтверджує ефективність заземлених екранів для захисту конструкцій, наприклад, пасажирських платформ, від корозії струмами витоку.

Висновки

1. В результаті теоретичних досліджень розроблено фізичну модель композиційного матеріалу як провідника та протікання крізь нього електричного струму, з якої отримано рівняння залежності питомої електропровідності та питомого електричного опору композиції від її структурної характеристики – коефіцієнту розсунення частинок наповнювача матрицею та питомого електричного опору наповнювача і цементної матриці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Старосельский, А.А. Коррозия и защита железобетонных конструкций в сооружениях электрифицированных железных дорог.- Харьков: ХИИТ, 1988.- 82 с.
2. Плугин, А.Н. Электрическое сопротивление железобетонных шпал с различными типами рельсовых скреплений / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Дудин // Зб.наук.праць УкрДАЗТ.- Харків, 2009.- Вип.111.- С.245-261.

2. В результаті експериментальних досліджень впливу електропровідних наповнювачів на електрофізичні та фізико-механічні властивості композицій на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою встановлено:

- експериментальні залежності узгоджуються з отриманим рівнянням залежності питомої електропровідності композиції від її структурної характеристики – коефіцієнту розсунення частинок наповнювача матрицею та питомого електричного опору наповнювача і цементної матриці;

- найбільше зниження електричного опору забезпечує графіт марки ГЛ-1, проте збільшення вмісту наповнювача, особливо марки ГЛ-1 через лускату структуру його зерен, обумовлює зниження міцності, водостійкості, водопоглинання;

- для електропровідної композиції найкращим є графіт марки ГС-1, а його раціональним вмістом – 10–15 %;

- водонасичення композиції забезпечує зниження питомого електричного опору у 20 раз до величин 2,8 Ом \times м, що є актуальним саме для її застосування у захисних екранах, що мають забезпечувати дренажу струмів витоку, які багаторазово збільшуються до небезпечних величин саме у вологу погоду.

3. За результатами досліджень розроблено та впроваджено графітонаповнену композицію для захисту будівель і споруд залізничного транспорту від електрокорозії.

5. Розроблено методику експериментального дослідження ефективності заземлених екранів із електропровідних композицій для захисту споруд від електрокорозії струмами витоку, що полягає у порівнянні величини струму, який протікає крізь арматуру і бетон моделі споруди із захисного екрану та моделі споруди із захисним екраном, і визначенні величини зниження сили струму крізь бетон і арматуру моделі із захистом порівняно з моделлю без захисту.

6. Встановлено, що захист заземленим екраном забезпечує зниження сили струму крізь бетон і арматуру $I_{аб}$ за рахунок протікання частини струму $I_{зе}$ крізь захисний екран, а захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевго електроду заземлення з ним – з його збільшенням $I_{аб}$ знижується, а $I_{зе}$ зростає. За відсотком площі контакту електроду заземлення з екраном 4,3 % $I_{аб}$ знижується на 75-80 %, що підтверджує ефективність заземлених екранів для захисту конструкції й від корозії струмами витоку.

3. Палий, В.В. Экспериментальная проверка технологических характеристик и электросопротивления полимерцементного раствора с карбамидной смолой / В.В. Палий, А.Н. Пшинько, А.Н. Плугин, А.А. Плугин, С.Г. Нестеренко, А.А. Конев // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. - Харків: УкрДАЗТ, 2012. - Вип.134. - С.235-241.
4. Врублевский, Л.Е. Возможности использования электропроводного бетона (бетэла) в гражданском строительстве. - Москва, 1971. - 51 с.
5. Касьянов, В.В. Вплив структури та компонентів на електрофізичні властивості електропровідних композицій на основі портландцементу / О.А.Плугін, В.В.Касьянов, А.А.Плугін, Д.А.Плугін, О.С.Борзяк // Науковий вісник будівництва – Харків: ХНУБА, 2017
6. Христин, О.В. Формування мікроструктури бетонів для захисту від іонізувального випромінювання / О.В. Христин, М.С. Лемешев // Вісник Вінницького політехнічного інституту.- Вінниця: УНІВЕРСУМ, 1998.- №2. - С.18-23.
7. Пушкарева, Е.К. Моделирование процессов получения нелинейных высокоомных резистивных композиционных материалов в системе « β - C_2S - SiC - C - Na_2O · SiO_2 · mH_2O » / Е.К. Пушкарева, С.Г. Гузий // Будівництво: Зб. наук. пр. - Дніпропетровськ: ДІПТ, 2001. - Вип.9. - С.54-57.
8. Плугін, А.А. Управління міцністю дрібнозернистого бетону одразу після формування на основі урахування електроповерхневих властивостей його складових / А.А.Плугін, Т.А.Костюк, В.І.Бабушкін // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХДТУБА, ХОТВАБУ, 1999.- Вип.7.- С.63-67.
9. Lopanov, A.N. Cement-quartz electrically conductive composites based on graphite dispersions / A.N. Lopanov, E.A. Fanina, O.N. Guzeeva // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - Vol. 9 (2014). - P.2250-2253.
10. Касьянов, В.В. Дослідження заземлених екранів із електропровідних композицій як способу захисту від електрокорозії / А.А. Плугін, Д.А. Плугін, О.А. Плугін, В.В. Касьянов, В.В. Конев // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків, 2017. – Вип 171. – С. 53–61.
11. Сердюк, В.Р. Фізико-хімічні особливості формування структури електропровідних бетонів / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев, О.В. Христин // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - Вінниця: ВДТУ, 1997.- №2.- С.5-9.
12. Лопанов, А.Н. Регулирование электрических и реологических свойств гетерогенных систем на основе кварцевого песка и графита механической активацией кварцевого песка / А.Н. Лопанов, Е.А. Фанина, О.Н. Гузеева // Вестник МГСУ, 2016. - № 8. - С.78-87.
13. Бабушкин, В.И. Особенности подбора состава формовочной смеси для цементно-песчаных стеновых материалов заданной плотности / В.И. Бабушкин, А.А. Плугин, Т.А. Костюк // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, 1998. - Вип.4. - С.61-63.
14. Lopanov, A.N. Technology of electrically conductive composites of alka-line earth metals carbonates and carbon dispersions / A.N. Lopanov, O.N. Guzeeva, I.V. Prushkovsky, K.V. Tikhomirova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - Vol. 9 (2014) - P. 2275–2278.
15. Pluhin, O. The effect of structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive compositions based on mineral binders / O. Pluhin, A. Plugin, D. Plugin, O. Borziak, O. Dudin // Matec Web of Conference, V.116, 01013 (2017), 9 pp. DOI: 10.1051/mateconf/201711601013
16. Plugin A.A. Increase of gypsum water resistance by mineral additives / A.A. Plugin, O.A. Plugin, H.-B. Fisher, G.N. Shabanova // 1 Weimarer Gipstagung, 30–31 März 2011, Weimar, Bundes Republik Deutschland: Tagungsbericht. - Weimar: F.A. Finger - Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, 2011. - NP21. - P.435-443.

REFERENCES

1. Starosel'skiy, A.A. Korroziya i zashchita zhelezobetonnykh konstruksiy v sooruzheniyakh elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog [Corrosion and protection of reinforced concrete structures in the structures of electrified railways].- Khar'kov: KHIIT, 1988.- 82 s.
2. Plugin, A.N. Elektricheskoye soprotivleniye zhelezobetonnykh shpal s razlichnymi tipami rel'sovykh skrepleniy [Electrical resistance of reinforced concrete sleepers with different types of rail fasteners]. / A.N. Plugin, A.A. Plugin, A.I. Plugin, A.A. Dudin // Zb.nauk.prats' UkrDAZT.- Kharkiv, 2009.- Vip.111.- S.245-261.
3. Paliy, V.V. Eksperimental'naya proverka tekhnologicheskikh kharakteristik i elektrosoprotivleniya polimertsementnogo rastvora s karbamidnoy smoloy [Experimental testing of technological characteristics and electrical resistivity of a polymer-cement solution with a carbamide resin]. / V.V. Paliy, A.N. Pshin'ko, A.N. Plugin, A.A. Plugin, S.G. Nesterenko, A.A. Konev // Zb. nauk. prats' UkrDAZT. - Kharkiv: UkrDAZT, 2012. - Vip.134. - S.235-241.
4. Vrublevskiy, L.Ye. Vozmozhnosti ispol'zovaniya elektroprovodnogo betona (betela) v grazhdanskom stroitel'stve [Possibilities of using electrically conductive concrete (betel) in civil engineering]. - Moskva, 1971. - 51 s.
5. Kas'yanov, V.V. Vplyv struktury ta komponentiv na elektrofizychni vlastyivosti elektroprovodnykh kompozytsiy na osnovi portlandtsementu [Influence of structure and components on electrophysical properties of

- electroconductive compositions based on Portland cement]. / O.A.Pluhin, V.V.Kas'yanov, A.A.Pluhin, D.A.Pluhin, O.S.Borzyak // *Naukovyy visnyk budivnytstva – Kharkiv: KHNUBA*, 2017.
6. *Khrystych, O.V. Formuvannya mikrostruktury betoniv dlya zakhystu vid ionizuval'noho vyprominyuvannya* [Formation of microstructure of concrete for protection against ionizing radiation]. / *O.V. Khrystych, M.S. Lemeshev // Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu.- Vinnytsya: UNIVERSUM, 1998.- №2. - S.18-23.*
 7. Pushkareva, Ye.K. Modelirovaniye protsessov polucheniya nelineynykh vysokoomnykh rezistivnykh kompozitsionnykh materialov v sisteme [Modeling of the processes of obtaining nonlinear high-resistive resistive composite materials in the system]. «*Kravchunovska T.S. -C2S-SiC-C-Na2O•SiO2•mH2O*» / Ye.K. Pushkareva, S.G. Guziy // *Budivnitstvo: Zb. nauk. pr. - Dnipropetrovsk: DÍIT, 2001. - Vip.9. - S.54-57.*
 8. Pluhin, A.A. Upravlinnya mitsnistyu dribnozernystoho betonu odrazu pislya formuvannya na osnovi urakhuvannya elektropoverkhnevnykh vlastyvostey yoho skladovykh [Management of the fine-grained concrete strength immediately after formation on the basis of taking into account the electrical properties of its components]. / A.A.Pluhin, T.A.Kostyuk, V.I.Babushkin // *Naukovyy visnyk budivnytstva.- Kharkiv: KHDTUBA, KHOTV ABU, 1999.- Vyp.7.- S.63-67.*
 9. Lopanov, A.N. Cement-quartz electrically conductive composites based on graphite dispersions / A.N. Lopanov, E.A. Fanina, O.N. Guzeeva // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - Vol. 9 (2014). - P.2250-2253.*
 10. Kas'yanov, V.V. Doslidzhennya zazemlenykh ekraniv iz elektroprovodnykh kompozytsiy yak sposobu zakhystu vid elektrokoroziyi [Studies of earthed screens from conductive compositions as a method of protection against electro-corrosion]. / A.A. Pluhin, D.A. Pluhin, O.A. Pluhin, V.V. Kas'yanov, V.V. Konyev // *Zb. nauk. prats' UkrDUZT. – Kharkiv, 2017. – Vyp 171. – S. 53–61.*
 11. Serdyuk, V.R. Fyzyko-khimichni osoblyvosti formuvannya struktury elektroprovodnykh betoniv [Physical and chemical peculiarities of the formation of the structure of conductive concrete]. / V.R. Serdyuk, M.S. Lemeshev, O.V. Khrystych // *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. - Vinnytsya: VDTU, 1997.- №2.- S.5-9.*
 12. Lopanov, A.N. Regulirovaniye elektricheskikh i reologicheskikh svoystv geterogennykh sistem na osnove kvartsevogo peska i grafitu mekhanicheskoy aktivatsiyey kvartsevogo peska [Regulation of electrical and rheological properties of heterogeneous systems based on quartz sand and graphite by mechanical activation of quartz sand]. / A.N. Lopanov, Ye.A. Fanina, O.N. Guzeyeva // *Vestnik MGSU, 2016. - № 8. - S.78-87.*
 13. Babushkin, V.I. Osobennosti podbora sostava formovochnoy smesi dlya tsementno-peschanykh stenovykh materialov zadannoy plotnosti [Features of selection of the composition of the molding mixture for cement-sand wall materials of a given density]. / V.I.Babushkin, A.A.Plugin, T.A.Kostyuk // *Naukoviy visnyk budivnytstva. - Kharkiv: KHDTUBA, 1998. - Vip.4. - S.61-63.*
 14. Lopanov, A.N. Technology of electrically conductive composites of alka-line earth metals carbonates and carbon dispersions. / A.N. Lopanov, O.N. Guzeeva, I.V. Prushkovsky, K.V. Tikhomirova // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - Vol. 9 (2014) - P. 2275–2278.*
 15. Pluhin, O. The effect of structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive compositions based on mineral binders / O. Pluhin, A. Plugin, D. Plugin, O. Borziak, O. Dudin // *Matec Web of Conference, V.116, 01013 (2017), 9 pp. DOI: 10.1051/mateconf/201711601013*
 16. Plugin A.A. Increase of gypsum water resistance by mineral additives / A.A. Plugin, O.A. Plugin, H.-B. Fisher, G.N. Shabanova // *1 Weimarer Gipstagung, 30–31 März 2011, Weimar, Bundes Republik Deutschland: Tagungsbericht. - Weimar: F.A. Finger - Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, 2011. - NP21.- P.435-443.*

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. Д.А.Плугінім (Україна), д-ром. техн. наук, проф. Л.В. Трикоз (Україна)