

Міністерство освіти та науки України
Український державний університет залізничного транспорту

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Касьянов Володимир Володимирович

УДК 691.55:699.822:699.887 (043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

«Електропровідні покриття на основі портландцементу для захисту
від електрокорозії і ремонту конструкцій та споруд залізниць»

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук

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

 В.В. Касьянов

Науковий керівник: Плугін Андрій Аркадійович, доктор технічних наук,
професор

Харків 2018

АНОТАЦІЯ

Касьянов Володимир Володимирович. Електропровідні покриття на основі портландцементу для захисту від електрокорозії і ремонту конструкцій та споруд залізниць. - На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 Будівельні матеріали та вироби – Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України, Харків, 2018 р. Захист відбудеться в Українському державному університеті залізничного транспорту.

Дисертація присвячена встановленню механізму руйнівної дії струмів витоку з електрифікованих постійним струмом залізничних колій на бетон і залізобетонні конструкції високих пасажирських платформ, а також розробленню складів на основі портландцементу, комплексної хімічної добавки та електропровідного наповнювача для ремонту і екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, представлено наукову гіпотезу, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі виконано критичний аналіз найбільш значущих робіт у галузі теоретичних і експериментальних досліджень довговічності будівель і споруд з бетону, залізобетону, кам'яної кладки. Проаналізовано відомості про деструктивний вплив струмів витоку на конструкції будівель і споруд залізничного транспорту і ступінь їх захищеності. Незважаючи на значну кількість робіт, теоретичних уявлень про захист від руйнівного впливу струмів витоку і блукаючих струмів на конструкції будівель і споруд залізничного транспорту опубліковано мало. Для забезпечення довговічності бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій в умовах обводнення і постійного струму витоку відібрано найбільш прийнятні уявлення, які дають змогу розкрити дійсний механізм електрокорозійного руйнування. Проаналізовано існуюче нормування електрокорозійної небезпеки і захисту. За результатами

виконаних обстежень будівель і споруд залізниць зроблено висновок, що норми недооцінюють електрокорозійну небезпеку в умовах обводнення.

Показано, що на утворення тріщин і пошкодження конструкцій з бетону і кам'яної кладки будівель станційних комплексів, водопропускних труб, мостових опор і полотна основний руйнівний вплив мають пульсуючий односпрямований струм витоку з рейкової колії з тривалістю імпульсу кілька хвилин і надлишкові електричні заряди в конструкціях, ним створювані. В обводнених конструкціях цей струм призводить до виносу гідроксиду кальцію з цементного каменю бетону або розчину. Викладене дозволяє припустити, що однією з основних причин пошкодження конструкцій із бетону та кам'яної кладки є надлишкові електричні заряди різного походження в поєднанні з обводненням. Згідно з раніше розробленою в УкрДУЗТ схемою, струм витоку протікає через конструкції фундаментів і цоколя будівель, руйнуючи їх електрокорозійно, проте ця схема не враховує інших шляхів протікання, що знижує ефективність технологічних рішень щодо захисту будівель.

Висунуто робочу гіпотезу про захист конструкцій від струмів витоку шляхом нанесення на них покриттів з електропровідних композицій на основі мінеральних в'язучих, що мають низький електричний опір, високі показники водостійкості та електрокорозійної стійкості, та їх уземлення.

Проаналізовано сучасні уявлення про процеси і закономірності структуроутворення і формування властивостей електропровідних композицій на основі мінеральних в'язучих. Встановлено, що найбільш ефективним способом забезпечення електропровідності композицій на основі мінеральних в'язучих є застосування електропровідних наповнювачів, в основному металевих і вуглеграфітових.

У другому розділі наведено характеристики основних матеріалів і методів досліджень. Для пошукових експериментальних досліджень з розроблення складів електропровідних композицій як в'язучу речовину модельних систем застосовували розчин силікату натрію з силікатним модулем 2,7, як електропровідні наповнювачі – порошки алюмінію, заліза, міді, цинку, графіту.

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. Фізико-механічні властивості – міцність на згин і стиск, густину, водопоглинання, коефіцієнт розм'якшення (водостійкості) – визначали стандартними методами на зразках-призмах.

Склад продуктів гідратації композиції на основі портландцементу і комплексної хімічної добавки з графітовим наповнювачем досліджували методами рентгенофазового аналізу та інфрачервоної спектроскопії за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-1,5 та ІЧ-Фур'є-спектрометра Bruker Alpha.

У третьому розділі виконано аналіз результатів численних досліджень технічного стану будівель і споруд на електрифікованих ділянках залізниць, що зазнають електрокорозійних ушкоджень. За результатами цього аналізу удосконалено уявлення про механізм протікання струмів витoku з рейок крізь конструкції цих будівель і споруд і їх електрокорозійне пошкодження.

На ділянках, електрифікованих постійним струмом, у місцях позитивного потенціалу на рейках струм з них стікає через вологі баласт і ґрунт на конструкції платформ і далі через захисний шар бетону на арматуру, з неї через заземлення знов у ґрунт або через обводнений бетон далі по місцевості до місць з підвищеним негативним потенціалом (водоймищ тощо).

В обох випадках електричний струм забезпечується у ґрунті та бетоні міграцією катіонів Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , аніонів OH^- , в арматурі та заземленні – електронів e^- . Протікання такого струму через захисний шар обумовлює прискорення карбонізації бетону з поверхні, а в приарматурній зоні – вилуговування, зниження pH , втрату захисних властивостей відносно арматури та її швидку корозію зі збільшенням об'єму і тріщино утворенням у бетоні. Протікання такого струму крізь масивну конструкцію обумовлює вилуговування бетону зі зниженням його міцності, інтенсифікацією морозного руйнування

тощо. Більш інтенсивне вилуговування і руйнування звичайно відбувається з боку, протилежного рейковій колії. Для пошкоджень без втрати несучої здатності запропоновано заземлені екрани зі штукатурним покриттям із електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу.

Електропровідність покриття забезпечується електропровідними наповнювачами. Комплексна хімічна добавка забезпечує ущільнення та підвищення електричного опору поверхневого шару бетону конструкції, а електропровідний наповнювач – електропровідність самого покриття, яке в разі його заземлення дренує струми витоку, виконуючи функції екранного захисту конструкції.

Виконано теоретичні дослідження впливу структури на електричний опір. Для опису кількісних закономірностей структуру умовно представлено просторовою моделлю з регулярним розташуванням кулеподібних структуроутворюючих елементів – частинок наповнювача однакового діаметра. Отримано теоретичну залежність питомого електричного опору композиції від її структурної характеристики – коефіцієнту розсунення частинок електропровідного наповнювача.

Для дослідження ефективності екранів для захисту від електрокорозії з розробленої композиції розроблено оригінальну методику експериментального дослідження, яка полягає в порівнянні величини сили струму, що протікає через арматуру і бетон, моделі споруди без захисного екрану I_{a60} і моделі споруди з захисним екраном I_{a61} .

Дослідження здійснювали за допомогою оригінальної експериментальної установки, яка складається з моделі споруди – призми з важкого бетону з міцністю на стиск 20 МПа, у яку забетоновано стрижень із арматурної сталі з випуском уверх. Струм, який натікає на споруду від джерел постійного струму, наприклад електрифікованої рейкової колії, створювали (моделювали) прикладанням різниці потенціалів 40 В між ємкістю і арматурним стрижнем у призмі, а його силу визначали за допомогою увімкнутих у ланцюг амперметрів (цифрових мультиметрів Sanwa PC510)

Відсоток площі контакту сталевого електрода заземлення з екраном – покриттям x , який змінювали під час дослідження, визначали як відношення площі контакту сталевого електроду з екраном покриттям $S_{\text{ез}}$ до площі всього екрана – покриття.

У четвертому розділі наведено результати пошукових досліджень з розроблення складів електропровідних композицій. Із застосуванням у модельних системах як в'язучого силікату натрію було досліджено залежності їх питомого електричного опору від вмісту електропровідних наповнювачів Н/СН – металевих та графітових порошоків. Питомий електричний опір графітового наповнювача у сполученні з матрицею з мінерального в'язучого на три порядки нижчий, ніж у металевих наповнювачів, тому для розроблення складів електропровідної композиції обрано графітові наповнювачі.

Виконано дослідження фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей композицій на силікаті натрію з різними отверджувачами та портландцементі з комплексною хімічною добавкою (КХД), що забезпечує проникну дію.

Досліджено залежності фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей цементних композицій з КХД різного складу на різних марках графітового порошку від вмісту графітового наповнювача.

Отже, для електропровідної композиції обрано графіт марки ГС-1 та його раціональний вміст – 10 %. Подальшими дослідженнями встановлено, що водонасичення композиції забезпечує зниження питомого електричного опору у 20 раз до величин 2,8 Ом \times м, що є актуальним саме для її застосування композиції в захисних екранах, які мають забезпечувати дренажування струмів витоку, які багаторазово збільшуються до небезпечних величин саме у вологу погоду. За результатами досліджень розроблено склад композиції проникної дії для гідроізоляції та екранного захисту від електрокорозії.

Таким чином, у результаті фізико-хімічних досліджень встановлено, що графіт не бере участь у гідратації цементу і майже не впливає на склад

продуктів його гідратації, крім певного зниження ступеня гідратації цементу і основності гідросилікатів кальцію.

Встановлено, що захисні властивості екрана залежать від відсотка площі контакту сталевого електрода заземлення з ним – зі збільшенням цього відсотка сила струму $I_{aб}$ знижується, а $I_{зе}$ зростає. За відсотком площі контакту електрода заземлення з екраном $x = 0,5 \%$ сила струму $I_{aб}$ знижується на $\Delta R_{aб} = 10-15 \%$, $x = 2,2 \%$ - на 50-55 %, $x = 4,3 \%$ - на 75-80 %. Це підтверджує ефективність заземлених екранів для захисту конструкцій, наприклад пасажирських платформ, від корозії струмами витоку.

У п'ятому розділі наведено результати розроблення і впровадження складу електропровідної композиції проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць. Розроблено конструктивно-технологічні рішення захисту опор пасажирських платформ від електрокорозії заземленими екранами-покриттями з електропровідної композиції проникної дії. Розроблено Технологічний регламент виробництва електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу і її застосування для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії. Виготовлено дослідну партію сухої суміші композиції.

Ключові слова: електропровідні покриття, склад проникної дії, струм витоку, електричний потенціал, пасажирські платформи, будівля, електрокорозія, тріщиноутворення, екранний захист.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Касьянов, В.В. Розробка складів електропровідних покриттів для захисту конструкцій від електрокорозії / В.В. Касьянов // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.– Харків: УкрДУЗТ 2015. – Вип. 155. – С. 138–142.

2. Касьянов, В.В. Захист та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць / В.В. Палій, Є.Г. Щур, С.В. Мірошніченко, А.А. Пługін, В.В. Касьянов, І.Г. Корнієнко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 130. – С. 100–107.

(Особистий внесок: Аналіз пошкоджень конструкцій, розроблення робочих креслень підсилення конструкцій пасажирських платформ).

3. Касьянов, В.В. Аналіз пошкоджень і способів ремонту підводних частин гідротехнічних споруд / Ю.А. Суханова, В.В. Касьянов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.– Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 148. – Ч. 2. – С. 87–92.

(Особистий внесок: аналіз причин пошкоджень споруд).

4. Касьянов, В.В. Дослідження заземлених екранів із електропровідних композицій як способу захисту від електрокорозії/ А.А. Пługін, О.А. Пługін, В.В. Касьянов, Д.А. Пługін, В.В. Конєв //Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 171. – С. 53–61.

(Особистий внесок: експериментальні дослідження екранів із композицій на основі портландцементу).

5. Касьянов, В.В. Вплив структури та компонентів на електрофізичні властивості електропровідних композицій на основі портландцементу / О.А. Пługін, В.В. Касьянов, А.А. Пługін, Д.А. Пługін, О.С. Борзяк // Науковий вісник будівництва. 2018 – Т. 91, №1. – С. 156-163. 10.29295/2311-7257-2018-91-1-156-163.

(Особистий внесок: виконання розрахункового експерименту за математичною моделлю електропровідності композиційного матеріалу, експериментальне дослідження).

6. Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії: Патент. 113600 UA МПК(2016.01) С04В28/00 С04В41/65(2006.01) С04В111/90(2006.01) С04В111/20(2006.01) С04В111/72(2006.01) / УкрДУЗТ; А.А. Пługін, Т.О. Костюк, О.Ю. Прощін, О.А.Пługін, Д.О.Бондаренко, В.В.

Касьянов, О.С. Борзяк, В.В. Конєв. – № а 2016 02005; Заявл. 01.03.2016; Опубл. 10.02.2017, Бюл. № 3. – 4 с.

(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень з визначення оптимального вмісту електропровідного наповнювача та аналіз їх результатів).

Праці апробаційного характеру:

7. Kasyanov, V. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection / D. Plugin, V.Kasyanov, V. Konev, S. Nesterenko, A. Afanasiev // MATEC Web of Conferences, 116, 01012 (2017). 6 p.

(Особистий внесок – виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення моделей, виконання замірів, аналіз результатів).

8. Касьянов, В.В. Электропроводні покриття для захисту залізобетонних конструкцій від корозії // Тези доповідей 69-ї наук.-техн. конф. ХНУБА (18–20 лютого 2014, Харків). – Харків: ХНУБА, 2014. – С. 22.

9. Касьянов, В.В. Анализ повреждений и способов ремонта подводных частей гидротехнических сооружений / Ю.А. Суханова, В.В. Касьянов // Матеріали між нар. наук.-техн. конф. «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті», (26–28 листопада 2014, Харків). – Харків: Укр-ДАЗТ, 2014. – С. 56–57.

(Особистий внесок: аналіз результатів натурних обстежень).

10. Касьянов, В.В. Влияние токов утечки и избыточных зарядов Земли на трещинообразование в кирпичной кладке / А.А. Плугин, А.Н. Плугин, С.Г. Нестеренко, Ал. А. Плугин, В.В. Касьянов, Д.А. Плугин // Матеріали междунар. науч.-практ. конф., «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения», (28–29 октября 2015, Харьков). – Харьков: ХНУСА, 2015. – С. 131–137.

(Особистий внесок: участь в експериментальних дослідженнях впливу електричного струму на утворення тріщин).

11. Касьянов, В.В. Розробка складів електропровідних покриттів для захисту конструкцій від електрокорозії / В.В. Касьянов // Тези доповідей, V Між нар. наук.-техн. конф., Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті, (23-24 квітня 2015, Харків) Харків: УкрДУЗТ, 2015. – С. 33.

12. Касьянов В.В. Захист споруд від електрокорозії за допомогою уземлених електропровідних екранів / В.В. Касьянов, О.А. Пługін, С.Г. Нестеренко, А.А. Пługін // Тези доповідей, VI Між нар. наук.-техн. конф., Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті, (19-21 квітня 2017, Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 51–52.

(Особистий внесок: експериментальні дослідження екранів із композицій на основі портландцементу).

13. Касьянов, В.В. Дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій / О.А. Пługін, В.В. Касьянов, В.В. Конєв, А.В. Никитинський // Тези доповідей, VI Між нар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017, Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 68–69.

(Особистий внесок: експериментальні дослідження композиції на основі портландцементу).

14. Касьянов, В.В. Дослідження впливу структури на питомий електричний опір силікатних композицій для захисту від електрокорозії / О.А. Пługін, В.В. Касьянов, А.А. Пługін, Д.А. Пługін // Тези доповідей, VI Між нар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017, Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 69.

(Особистий внесок: розрахунки залежності електропровідності від характеристик структури).

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

15. Касьянов, В.В. Исследование формирования и использования водных ресурсов на городском и региональном уровнях с использованием геоинформационных систем / К.А. Мамонов, О.В. Кондращенко, К.О. Метешкин, К.І. Вяткін, С.Г. Нестеренко, В.В. Касьянов, О.В. Бабанін // Коммунальное хозяйство городов. – Харьков, 2017. – Вып. 134. – С. 58 – 64.

(Особистий внесок: виконання натурних досліджень).

ABSTRACT

Kasianov, Volodymyr Volodymyrovych. Portland cement-based electroconductive coatings intended for the corrosion prevention and repair of railway structures and facilities. - As manuscript.

The thesis for the scientific degree of the candidate of engineering sciences (PhD) in specialty of 05.23.05 Construction materials and items – Ukrainian State University for the Railway Transport under the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018. The thesis will be defended at the Ukrainian State University for the Railway Transport.

This thesis is devoted to the establishment of a mechanism of the destructive action of leakage currents that flow in d. c. electrified railway tracks affecting concrete and reinforced concrete structures of raised passenger platforms and it also deals with the design of mixes based on the Portland cement, complex chemical additive and electroconductive filler to repair and provide anticorrosion shields for railway structures and facilities.

In the introduction, a vitality of the subject of dissertation was substantiated, the research objective and the tasks were formulated, the scientific hypothesis was suggested, and the novelty and practical value of obtained results were described. The information on the approbation of key results of the thesis, number of publications, structure and scope of work has been given.

The first section deals with the critical analysis of the most important scientific papers in the field of theoretical and experimental research of the life-span of

constructions and facilities built using concrete, reinforced concrete and stonework. The data related to the destructive influence of leakage currents that affect the erected structures and facilities of railway transport and the degree of their protection have been given. In spite of an ample amount of published scientific papers all of them fail to give proper consideration to the theoretical treatment of the protection of erected structures and facilities of the railway transport exposed to the destructive action of leakage currents and stray currents. To provide a long-term service life for concrete, reinforced concrete and stonework structures exposed to water flood and direct leakage currents consideration was given to the most acceptable conceptions that enable the exposure of a true mechanism of electrocorrosion failure. The available standardization records of electrocorrosion safety and protection were analyzed. The inspection data of railway constructions and facilities allow us to draw a conclusion that the norms underestimate the electrocorrosion safety in conditions of water flood.

It is shown that the main destructive action that results in the formation of cracks and damages in the structures made of concrete and stonework is produced by pulsating unidirectional track leakage current with the pulse duration of a few minutes and surplus electric charges induced by it. In the structures exposed to the water flood this current results in the evacuation of calcium hydroxide from the cement concrete stone or from the solution. Based on the above, we can assume that one of the reasons for the damage of concrete structures and stonework is the availability of surplus electric charges of a different origin in combination with the water flood. According to the scheme developed earlier by the UkrSURT (State University for Railway Transport) the leakage current passes through the socle and groundwork structures of buildings causing their failure due to the electrocorrosion. However, this scheme fails to take into account other flow passages and it results in a decreased efficiency of technology solutions on the protection of structures.

A working hypothesis on the protection of structures exposed to leakage currents was suggested. According to it, the coatings made of electroconductive com-

positions based on mineral cementing agents that have a low electric resistance, high indices of water resistance and electrocorrosion resistance must be applied on-to the structures with the coating earthing.

Current conceptions of the processes, structure formation patterns and the formation of the properties of electroconductive compositions based on mineral cementing agents have been analyzed. It was established that the most efficient approach to the providing of electrical conductivity of compositions based on mineral cementing agents is the use of electroconductive fillers mainly metal and carbon and graphite.

In the second section key materials and research methods have been described. For the experimental research done to develop the mixes of electroconductive compositions the sodium silicate solution with the silicate module of 2.7 was used as a cementing agent of model systems and aluminum, iron, copper, zinc and graphite powders were used as electroconductive fillers.

The dependences of physical, mechanical and electrophysical properties of developed mixes on the content of complex chemical additive and electroconductive filler were defined by carrying out a direct experiment varying the content of additive and the filler and defining appropriate properties for each mix. Physical and mechanical properties, in particular flexural strength and compressive strength, density, water absorption, softening factor (water resistance) were defined using standard methods adopted for prism specimens.

The mix of hydration products of Portland cement-based composition and complex chemical additive with the graphite filler was studied using the methods of X-ray phase analysis and infrared spectroscopy making use of X-ray diffractometer DRON 1,5 and infrared Fourier spectrometer Bruker Alpha.

In the third section the numerical research data of the technical state of structures and facilities for electrified railway sections that experience electrocorrosion failure were analyzed. The analysis data allowed for the improvement of the conceptions on the passage mechanisms of leakage currents from rail-tracks

through the structures of constructions and facilities and those related to their electrocorrosion failure.

For d. c. electrified sections at the places of accumulation of positive potential on rail tracks the current flows off or it is drained through the wet ballast and the ground to platform constructions and then through the protective concrete layer to the reinforcement and then it flows off through the earthing again to the ground or through the watered concrete across the locality to the places of an increased negative potential (water pools, etc.).

In both cases, the electric current provides the migration of cations Ca^{2+} , Na^+ , K^+ and anions OH^- in the ground and concrete and the migration of electrons e^- in the reinforcement and to the earthing. The passage of such current through the protective layer conditions acceleration of the carbonization of concrete on the surface and in the reinforcement-adjacent zone and it results in the leaching out, a decrease in pH , loss of protective properties of the fittings with their fast propagating corrosion and the crack formation in concrete.

Flow of such current through the solid structure conditions the leaching out of concrete with a degradation of its strength and intensification of its frost failure. More intensive leaching and destruction usually take place on the side opposite to the rail track. For the failures that result in no loss of bearing capacity earthed shields were suggested with the plaster coating made of electroconductive composition of a penetrating action based on Portland cement.

The coating electroconductivity is provided by electroconductive fillers. The complex chemical additive provides the compaction of the surface layer and an increase in the electric resistance of the surface concrete layer of the construction and the electroconductive filler provides the electroconductivity of the coating that drains leakage currents in the case of its earthing functioning as a shield protection for the construction.

The influence of the structure on the electric resistance was studied theoretically. To describe quantitative regularities, the structure was conventionally represented as a three-dimensional model with the regular arrangement of ball-shaped struc-

ture formation elements, i.e. filler particles of the same diameter. The theoretical dependence of specific electric resistance of the composition on its structural characteristic, i.e. the coefficient of separation of the particles of electroconductive filler was obtained.

To achieve an appropriate shield efficiency for the corrosion prevention the developed composition was used for the elaboration of an original technique of experimental research, the essence of which consists in the comparison of the strength value of the current that passes through the reinforcement and concrete, and also through the structure model without the protective shield I_{a60} and the structure model with the protective shield I_{a61} .

The research was done using the original experimental facility that consists of the structure model, i.e. heavy-weight concrete with the compression strength of 20MPa that contains an embedded rod made of reinforcing steel projected upwards. The current that flows to the structure from direct current sources, for example electrified rail tracks was created (simulated) by application of the potential difference of 40V between the capacity and the reinforcing rod inside the prism and the strength of it was determined using the ammeters (digital multimeters Sanwa PC 510) connected to the circuit.

The percentage of the contact area of earthing steel electrode with the shield, i.e. the coating x that was changed during the research was defined as a ratio of the contact area of steel electrode with the coating shield S_{e3} and the area of entire coating shield.

The forth section gives the research data on the development of the mixes for electroconductive compositions. Using the sodium silicate as a cementing agent for model systems we studied the dependence of their specific electric resistance on the content of electroconductive fillers H/ CH, in particular metal and graphite powders. Specific electric resistance of graphite filler in combination with the matrix of mineral cementing agent is three orders less in comparison with metal fillers; therefore in order to design the mixes for the electroconductive composition we selected for our experiment graphite fillers.

Physical, mechanical, hydrophysical and electrophysical properties of sodium silicate-based compositions with different hardening agents and Portland cement-based compositions with the complex chemical additive (CCA) that provides penetration action have been studied.

The dependence of physical, mechanical, hydrophysical and electrophysical properties of cement compositions with CCA of a different mix on the content of graphite filler was analyzed using different grades of a graphite powder.

Hence, we selected for the electroconductive composition the graphite of a GS-1 grade and its rational content will be 10%. Further investigations established that the water saturation of composition provides a 20-times decrease in the specific electric resistance reaching the value of 2,8 Ohm×m, which is rather vital for the use of it for the shields that must provide the drainage of leakage currents that are increased by a factor of several times reaching unsafe values particularly for the wet weather. Using the research data, we developed the composition mix of a penetration action for the water isolation and prevention of electrocorrosion by the shields.

Thus, the physical and chemical research showed that graphite is not participating in the cement hydration and actually has no influence on the mix of products of its hydration, except for a certain decrease in the level of cement hydration and the basicity of calcium hydrosilicates.

It has been established that the protective properties of shield depend on the percentage of contact area of earthed steel electrode with it and with an increase of this percentage the current strength $I_{a\delta}$ is decreased and I_{3e} is increased. According to the percentage of the contact area of earthed electrode and the shield $x = 0,5 \%$, the current strength $I_{a\delta}$ is decreased by $\Delta R_{a\delta} = 10-15 \%$, $x = 2,2 \%$ by 50-55 %, $x = 4,3 \%$ - by 75-80 %. It confirms the efficiency of earthed shields that protect the constructions, for example passenger platforms preventing the corrosion caused by leakage currents.

The fifth section gives the data related to the development and introduction of the mix of electroconductive composition of a penetration action intended for

the water isolation and electrocorrosion prevention of railway structures and facilities. Structural and technology solutions were developed to prevent electrocorrosion of the supports of passenger platforms using the earthed shields-coatings made of electroconductive composition of a penetration action. The process procedure for the production of electroconductive Portland cement-based composition of a penetration action was developed to use it for the prevention of electrocorrosion of the structures made of reinforced concrete. A research batch of the dry mix of composition was fabricated.

Keywords: electroconductive coatings, the mix of a penetration action, the leakage current, the electric potential, passenger platforms, the structure, electrocorrosion, the crack formation and the shield protection.

LIST OF PUBLICATIONS ON DISSERTATION TOPIC

Articles in the specialized editions and in the publications included in the scientific-mathematical bases:

1. Kas'yanov, V.V. Rozrobka skladiv yelektroprovídnikh pokrit' dlya zakhistu konstruktsiy víd yelektrokorozií / V.V. Kas'yanov // Zb. nauk. prats' Ukr. derzh. un-tu zalíznich. transp.- Kharkív: UkrDUZT 2015. - Vip. 155. - S. 138-142.

2. Kas'yanov, V.V. Zakhist ta pídsilennya konstruktsiy pasazhirs'kikh platform na yelektriíkovanih dílyankakh zalíznits' / V.V. Palíy, Ê.G. Shchur, S.V. Míroshníchenko, A.A. Plugín, V.V. Kas'yanov, Í.G. Korníênko // Zb. nauk. prats' Ukr. derzh. akad. zalíznich. transp. - Kharkív: UkrDAZT, 2012. - Vip. 130. - S. 100-107.

(Personal contribution: Analysis of damage to structures, development of working drawings for reinforcement of passenger platforms).

3. Kas'yanov, V.V. Analíz poshkodzen' í sposob raboty pídvodnikh chasteyn gídrotekhníchnik sporud / YU.A. Sukhanova, V.V. Kas'yanov // Zb. nauk. prats' Ukr. derzh. akad. zalíznich. transp.- Kharkív: UkrDAZT, 2014. - Vip. 148. - CH. 2. - S. 87-92.

(Personal contribution: analysis of causes of damage to structures).

4. Kas'yanov, V. V. Issledovaniye zazemlennykh ekranov s elektroprovodyashchikh kompozitsiy kak sposoba zashchity ot elektrokoroziy / A.A. Plugin, A.A. Plugin, V.V. Kas'yanov, D.A. Plugin, V.V. Konev // Sb. nauk. rabot Ukr. gos. un-ta zheleznod. transp. - Khar'kov: UkrDUZT, 2017. - Vyp. 171. - S. 53-61.

(Personal contribution: experimental studies of screens from portland cement compositions).

5. Kas'yanov, V.V. Vplyv struktury ta komponentiv na elektrofizychni vlastyvoli elektroprovodnykh kompozytsiy na osnovi portlandtsementu / O.A. Pluhin, V.V. Kas'yanov, A.A. Pluhin, D.A. Pluhin, O.S. Borzyak // Naukovyy visnyk budivnytstva. 2018 – T. 91, №1. – S. 156-163. 10.29295/2311-7257-2018-91-1-156-163.

(Personal contribution: carrying out of a calculated experiment with a mathematical model of electrical conductivity of a composite material, an experimental study).

6. Kompozytsiya pronyknoyi diyi dlya hidroizolyatsiyi ta zakhystu vid elektrokoroziyi: Patent. 113600 UA MPK(2016.01) S04V28/00 S04V41/65(2006.01)S04V111/90(2006.01) S04V111/20(2006.01) S04V111/72(2006.01) / UkrDUZT; A.A. Pluhin, T.O. Kostyuk, O.YU. Proshchin, O.A.Pluhin, D.O.Bondarenko, V.V. Kas'yanov, O.S. Borzyak, V.V. Konyev. – № a 2016 02005; Zayavl. 01.03.2016; Opubl. 10.02.2017, Byul. № 3. – 4 c.

(Personal contribution: performing experimental studies to determine the optimum content of electrically conductive filler and analysis of their results).

Materials testing the results of dissertation research

7. Kasyanov, V. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection / D. Plugin, V. Kasyanov, V. Konev, S. Nesterenko, A. Afanasiev // MATEC Web of Conferences, 116, 01012 (2017). 6 p.

(Personal contribution - the implementation of experimental research: the development and manufacture of models, performance of measurements, analysis of results).

8. Kas'yanov, V.V. Yelektroprovídní pokríttya dlya zakhistu zalízetonnikh konstruksíy víd korozíí // Tezi dopovídey 69-nauk nauk.-tekhn. konf. KHNUBA (18–20 lyutogo 2014, Kharkív). – Kharkív: KHNUBA, 2014. – S. 22.

9. Kas'yanov, V.V. Analiz povrezhdeniy i sposobov remonta podvodnykh chastey gidrotekhnicheskikh sooruzheniy / YU.A. Sukhanova, V.V. Kas'yanov // Materíali mízh nar. nauk.-tekhn. konf. «Noví tekhnologíi, obladnannya, materíali v budívnitství í na transportí», (26-28 listopada 2014, Kharkív). - Kharkív: UkrDAZT, 2014. - S. 56-57.

(Personal contribution: analysis of the results of field surveys).

10. Kas'yanov, V. V. Vliyaniye tokov utechki i izbytochnykh zaryadov Zemli na treshchinoobrazovaniye v kirpichnoy kladke / A.A. Plugin, A.N. Plugin, S. Nesterenko, Al. A. Plugin, V.V. Kas'yanov, D.A. Plugin // Materialy mezhdunar. nauch.-metod. konf., «Effektivnyye tekhnologicheskkiye resheniya v stroitel'stve s vnedreniyem betonov novogo pokoleniya», (28–29 oktyabrya 2015, Khar'kov). – Khar'kov: KHNUBA, 2015 – S. 131–137.

(Personal contribution: participation in experimental studies on the influence of electric current on the formation of cracks).

11. Kas'yanov, V.V. Rozrobka skladiv elektroprovídnnykh pokryt' dlya zakhystu konstruksiy víd elektrokoroziyi / V.V. Kas'yanov // Tezy dopovidey, V Mizh nar. nauk.-tekhn. konf., Problemy nadiynosti ta dovhovichnosti inzhenernykh sporud ta budivel' na zaliznychnomu transporti, (23-24 kvitnya 2015, Kharkiv) Kharkiv: UkrDUZT, 2015. – S. 33.

12. Kas'yanov V.V. Zakhyst sporud víd elektrokoroziyi za dopomohoyu uzemlenykh elektroprovídnnykh ekraniv / V.V. Kas'yanov, O.A. Pluhin, S.H. Nesterenko, A.A. Pluhin // Tezy dopovidey, VI Mizh nar. nauk.-tekhn. konf., Problemy nadiynosti ta dovhovichnosti inzhenernykh sporud ta budivel' na zaliznych-

nomu transporti, (19-21 kvitnya 2017, Kharkiv). – Kharkiv: UkrDUZT, 2017. – S. 51–52.

(Personal contribution: experimental studies of screens from Portland cement compositions).

13. Kas'yanov, V.V. Doslidzhennya vplyvu elektroprovodnoho napovnyuvacha na elektrofizychni, fizyko-mekhanichni, hidrofizychni vlastyvoli sylikatnykh kompozytsiy / O.A. Pluhin, V.V. Kas'yanov, V.V. Konyev, A.V. Nykytyns'kyy // Tezy dopovidey, VI Mizh nar. nauk.-tekhn. konf. «Problemy nadiynosti ta dovhovichnosti inzhenernykh sporud ta budivel' na zaliznychnomu transporti» (19-21 kvitnya 2017, Kharkiv). – Kharkiv: UkrDUZT, 2017. – S. 68–69.

(Personal contribution: experimental studies of composition based on Portland cement).

14. Kas'yanov, V.V. Doslidzhennya vplyvu struktury na pytomyy elektrychnyy opir sylikatnykh kompozytsiy dlya zakhystu vid elektrokoroziyi / O.A. Pluhin, V.V. Kas'yanov, A.A. Pluhin, D.A. Pluhin // Tezy dopovidey, VI Mizh nar. nauk.-tekhn. konf. «Problemy nadiynosti ta dovhovichnosti inzhenernykh sporud ta budivel' na zaliznychnomu transporti» (19-21 kvitnya 2017, Kharkiv). – Kharkiv: UkrDUZT, 2017. – S. 69.

(Personal contribution: calculations of the dependence of the conductivity on the characteristics of the structure).

Publications that additionally reflect the dissertation materials

15. Kas'yanov, V.V. Issledovaniye formirovaniya i ispol'zovaniya vodnykh resursov na gorodskom i regional'nom urovnyakh s ispol'zovaniyem geoinformatsionnykh sistem / K.A. Mamonov, O.V. Kondrashchenko, K.O. Meteshkin, K.Í. Vyatkin, S.G. Nesterenko, V.V. Kas'yanov, O.V. Babanin // Kommunal'noye khozyaystvo gorodov. – Khar'kov, 2017. – Vip. 134. – S. 58 – 64.

(Personal contribution: performing field studies).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	24
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ЇХ ПОШКОДЖЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УРАЇНИ.....	35
1.1 Аналіз основних руйнівних впливів на конструкції будівель і споруд на залізницях України.....	35
1.2 Дослідження пошкоджених будівель та споруд на залізничних лініях, електрифікованих постійним струмом.....	46
1.2.1 Пошкодження конструкцій станційних будівель.....	46
1.2.2 Схеми протікання струмів витoku через конструкції станційних будівель.....	49
1.2.3 Пошкодження конструкцій високих пасажирських платформ....	53
1.2.4 Схеми протікання струмів витoku через конструкції високих пасажирських платформ.....	67
1.2.5 Механізм електрокорозії бетону.....	68
1.3 Захист конструкцій будівель та споруд від руйнівного впливу постійного електричного струму.....	70
1.3.1 Способи захисту від електрокорозії.....	70
1.3.2 Електродренаж.....	73
1.3.3 Катодний захист.....	76
1.3.4 Діодне заземлення.....	78
1.4 Передумови створення електропровідних композицій на основі портландцементу для захисту від електрокорозії.....	79
1.4.1 Використання бетону як електропровідного матеріалу.....	80
1.4.2 Вуглеграфітові наповнювачі.....	87
1.4.3 Механізм взаємодії розчинів на основі портландцементу з ремонтною поверхнею конструкцій.....	94
1.4.4 Деформаційні властивості розчинів на основі портландцементу	95
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1	96
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	99
2.1.Матеріали для експериментальних досліджень	99
2.2 Методи досліджень.....	102
2.2.1 Дослідження залежності електрофізичних, фізико-механічних, гідрофізичних властивостей.....	102
2.2.2 Питомий електричний опір та питому електропровідність композицій.....	102
2.2.3 Фізико-механічні та гідрофізичні властивості.....	105
2.2.4 Зчеплення композицій з поверхнею бетону.....	106
2.2.5 Фізико-хімічні дослідження.....	107
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2	109
РОЗДІЛ 3 РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ УЯВЛЕНЬ	110

ПРО ЕЛЕКТРОКОРОЗИЮ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ	
ЗАЛІЗНИЦЬ ТА ЇХ ЗАХИСТ ЗАЗЕМЛЕНИМИ ЕКРАНАМИ	
ІЗ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ.....	
3.1	Механізм електрокорозії залізобетонних і бетонних конструкцій пасажирських платформ..... 110
3.2	Механізм захисту залізобетонних і бетонних конструкцій пасажирських платформ від електрокорозії заземленими екранами..... 115
3.3	Обґрунтування створення електропровідних композицій проникної дії для штукатурок – заземлених екранів для захисту від електрокорозії 120
3.4	Розробка методики експериментальних досліджень ефективності заземлених екранів із електропровідних композицій..... 130
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3..... 133	
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ЗАХИСНИХ	
ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ..... 135	
4.1	Пошукові експериментальні дослідження з розробки складів електропровідних композицій..... 135
4.1.1	Опрацювання методики дослідження з вибору електропровідного наповнювача..... 135
4.1.2	Пошукові дослідження з вибору електропровідного наповнювача..... 140
4.1.3	Мікроскопічні дослідження композитів з електропровідними наповнювачами..... 150
4.1.4	Фізико-механічні та гідрофізичні властивості композиту з графітовим наповнювачем та зв'язуючим – сілікатом натрію..... 156
4.2	Експериментальні дослідження з розробки і уточнення складів електропровідної композиції на основі портландцементу та графітового наповнювача..... 159
4.2.1	Седиментаційний аналіз графітового наповнювача..... 159
4.2.2	Розробка складу портландцементної основи для електропровідної композиції з графітовим наповнювачем..... 162
4.2.3	Дослідження залежностей фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей композицій на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою від вмісту графітового наповнювача.....
4.2.4	Фізико-хімічні дослідження електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем..... 179
4.2.5	Уточнення складу та визначення фізико-механічних та гідрофізичних характеристик електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем..... 188
4.3	Дослідження ефективності заземлених екранів із електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною до- 189

бавкою та графітовим наповнювачем.....	
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4.....	195
РОЗДІЛ 5 ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	198
5.1 Склад електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії.....	198
5.2 Технологія виробництва електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії.....	198
5.3 Конструктивно-технологічне рішення екранного захисту пасажирських платформ від електрокорозії.....	202
5.4 Порядок застосування електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії.....	203
5.5 Дослідно-промислове впровадження екранного захисту конструкцій пасажирських платформ від електрокорозії.....	205
5.6 Розробка рекомендацій за результатами досліджень.....	211
5.7 Техніко-економічні ефективність впровадження результатів досліджень.....	211
5.8 Використання результатів досліджень у навчальному процесі.....	212
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5.....	213
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	215
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	218
ДОДАТОК А.....	237
ДОДАТОК Б.....	243
ДОДАТОК В.....	246
ДОДАТОК Г.....	258
ДОДАТОК Д.....	262
ДОДАТОК Є.....	269

ВСТУП

Актуальність роботи. На залізницях України експлуатується близько 20 тис. будівель і службово-технічних споруд, які обслуговуються територіальними управліннями філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель та споруд» ПАТ «Укрзалізниця». В результаті різних природних і антропогенних факторів – підвищених механічних (статичних і динамічних), а також електричних впливів, пов'язаних з рухом поїздів, в першу чергу на електричній тязі, деякі конструкції будівель і споруд прискорено зношуються. Пошкоджень зазнають головним чином бетонні, залізобетонні, кам'яні конструкції будівель та споруд, що експлуатуються поблизу електрифікованих постійним струмом залізничних колій. Електричні струми витокую з рейок, потрапляючи на такі конструкції, призводять не тільки до прискореного електрокорозійного вибуговування 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, створюють загрозу безпеці руху поїздів і пасажирів та потребують відновлення експлуатаційних властивостей [1-9]. Руйнуванню піддаються головним чином бетонні й залізобетонні штучні споруди, що експлуатуються поблизу електрифікованих ділянок залізниць [2-4]. Вплив на конструкції електричного струму в обводнених умовах, а також різних природних і антропогенних факторів стають причинами зниження міцності матеріалів, у першу чергу бетону і, як наслідок, зменшення довговічності конструкції транспортних споруд.

До основних причин, які призводять до ушкодження цементного каменю і бетону, відносять: кліматичні - зволоження та висушування, заморожування та відтавання, хімічні, біологічні, механічні, електричні впливи. Потрапляння води в пори і капіляри бетону призводить до його набухання, а, отже, висихання - до усадки і утворення мікротріщин. Замерзання води в порах бетону небезпечно збільшенням її об'єму приблизно на 10 %. Цей процес призводить до руйнування структури бетону і, отже, до збільшення інтенсивності фільтрації води через тіло конструкції, а також виносу катіонів кальцію. При цьому бетон в значній мірі втрачає свої властивості міцності та, отже, конструкції з нього стають менш довговічними [3, 8].

Крім вказаного, досвід експлуатації показує, що в умовах дії агресивних чинників атмосфери, поверхневих і підземних вод, постійного електричного струму, бетон піддається передчасному руйнуванню і зниженню довговічності. Ці фактори створюють загрозу не тільки безпечного проходження транспортних потоків, а й життя пасажирів.

Істотної шкоди завдає корозія, викликана проходженням електричного струму через бетон. Протікаючи крізь бетон, електричний струм призводить до руйнування бетонних і залізобетонних конструкцій, знижуючи їх несучу здатність і довговічність. До основних джерел виникнення блукаючих струмів можна віднести електрифіковані постійним струмом залізниці, трамваї, тролейбуси, метрополітен тощо. Ці струми здатні розтікатися на десятки кілометрів, спричиняючи сильне пошкодження бетонних конструкцій [4, 9]. Тому саме цей вплив на бетон і руйнівні процеси в ньому є найбільш небезпечними. Він значно знижує довговічність споруд з бетону та залізобетону, скорочує терміни проведення ремонтних робіт, збільшує вартість їх поточного утримання.

Відомим є і той факт, що на етапі проектування бетонних і залізобетонних штучних споруд закладалася довговічність, яка не враховувала всього комплексу агресивних впливів і руйнуючих процесів на конструкцію [5, 8].

Як зазначалося вище, відомо, що будівлі та споруди, розташовані поблизу електрифікованих постійним струмом залізниць, зазнають пошкоджень в значно більшому ступені. Але значно більше піддаються руйнуванню і пошкодженням бетонні та залізобетонні конструкції у разі поєднання постійних струмів витоку і обводнення [9]. Також встановлено, що руйнівну дію на конструкції в умовах обводнення має й змінний струм [10, 11]. Вважається, що змінний струм є особливо небезпечним для залізобетонних конструкцій. Проходячи по арматурі, він викликає процес електрокорозії. Продукти корозії арматури в обсязі значно більше вихідних розмірів арматури. Тому в конструкції вони викликають додаткові внутрішні напруження, які призводять до руйнування захисного шару бетону.

Як показують багаторічні дослідження кафедри БМКС УкрДУЗТ, струми витоку на залізничному транспорті є не просто постійними, а пульсуючими односпрямованими [3, 4, 9]. Це обумовлено їх імпульсним режимом від руху поїздів. В обводнених умовах такий струм, проходячи через конструкції, викликає електрокорозію бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій.

Струм витоку з рейок потрапляє на конструкції будівель, споруд, в т.ч. платформ, через шпали, баласт, ґрунт, перони між коліями. Величини струмів і їх руйнівний вплив посилюється під час дощу і сніготанення.

Як відомо, традиційними способами відновлення експлуатаційних властивостей, зокрема, втрачених перерізів, є торкретування і оштукатурювання сумішами на основі мінеральних в'язучих. Проте традиційні ремонтні цементні розчини в умовах дії струмів витоку не є ефективними, не забезпечують захисту від зазначених руйнівних факторів у подальшому, а відремонтовані за їх допомогою конструкції недовговічні. Для забезпечення їх довговічності захисний ремонтно-відновлювальний матеріал повинен відповідати високим показникам водонепроникності, морозостійкості, зносостійкості, мати високу адгезію до поверхні старого бетону. Тому дослідження, спрямовані на розроблення нових ремонтних сумішей, які б забезпечили не тільки віднов-

лення експлуатаційних властивостей конструкцій, а й відведення від них струмів витоку, є актуальними.

В УкрДУЗТ розроблені конструктивно-технологічні рішення ремонту штучних споруд електрифікованих залізниць (водопропускних труб, мостових опор, стояків пасажирських платформ) за допомогою заземлених металоін'єкційних сорочок, обойм [3]. Ці рішення полягають в улаштування на ослабленій ушкодженнями конструкції закріпленої анкерами металеві оболонки, в зазор між якою і поверхнею конструкції нагнітають суперпластифіковану цементно-водну суспензію. На ділянках, електрифікованих постійним струмом, з позитивним потенціалом на рейці, оболонку заземляють через вентиль (діод). Таке поляризоване заземлення під час подальшої експлуатації надійно захищає саму оболонку, арматуру, бетон та/або розчин кладки конструкції від струмів витоку і електрокорозії. Однак таке рішення досить дороге і доцільне для застосування у разі необхідності відновлення втраченої несучої здатності конструкції, що має значні пошкодження (корозія арматури, вивали тощо).

У разі несуттєвих поверхневих ушкоджень конструкції зазвичай ремонтують оштукатурюванням. Найбільш ефективними вважають композиції проникної дії на основі портландцементу [12]. Однак композиції проникної дії не призначені для захисту від струмів витоку і електрокорозії.

Автори [1, 13], узагальнивши численні джерела [14-24] і виконавши відповідні дослідження, розробили оригінальні полімерцементні склади для ремонту штучних споруд залізниць. При цьому в [1] детально досліджується і підвищується електричний опір зазначених полімерцементних складів з метою захисту від електрокорозії.

Іншим напрямком розробки ефективних ремонтних штукатурних складів для штучних споруд залізниць може стати їх застосування в складі поляризованого заземлення [3]. В цьому випадку важливою якістю для ремонтного складу має бути низький електроопір. Ця якість забезпечить захист від струмів витоку шляхом їх відведення через заземлювач. Як показав критич-

ний аналіз літературних джерел, усього комплексу вимог до відновних складів кращим чином підходять струмопровідні покриття з графітовим наповнювачем, а також склади з вмістом різних порошків металів та ін. струмопровідні композиції які складаються, як правило, з в'язучого, наповненого тонкодисперсним графітом або іншими компонентами, які характеризуються високою питомою електропровідністю.

Для умов України доцільно звернути увагу на графітові порошки, які в країні виробляються, є недорогими та нетоксичними. В основному вони застосовуються в радіоелектроніці, транспортній промисловості, для виробництва лакофарбових виробів тощо.

З попередніх досліджень і розроблених рецептур струмопровідних композицій видно, що вони за своїми фізико-механічними показниками не поступаються іншим видам захисних покриттів, а в деяких показниках перевершують. Однак, вищевказані дослідження не повною мірою висвітлюють питання захисту, ремонту та відновлення будівель і споруд в умовах дії струмів витоку і обводнення на залізничному транспорті.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження виконані на кафедрі «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» Українського державного університету залізничного транспорту у складі держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних сілікатних матеріалів з підвищеними гідрофізичними характеристиками» (ДР № 0115U000279) [25], «Теоретичні та експериментальні дослідження впливу електрокорозійного и напружено-деформованого стану залізничних споруд колії та їх надійність і безпеку руху» (ДР № 0113U001031) [26], а також госпдоговірних НДР, що виконувалися відповідно до планів НДДКР Укрзалізниці «Проведення досліджень сумісності існуючих лакофарбових матеріалів із сучасними антикорозійними системами та розробка рекомендацій із збільшення міжремонтних термінів фарбування мостів» (ДР № 0112U006926) [27]; «Проведення досліджень і розробка рекомендацій із за-

хисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць» (УкрДУЗТ №60/2-2011) [28].

Мета дослідження – розробка електропровідного складу на основі портландцементу для ремонту і екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць.

Завдання досліджень:

- критичний аналіз літературних даних, результатів натурних обстежень, що стосуються впливу постійного струму витоку, електричних полів і зарядів на цементний камінь, розчин, бетон кам'яних, бетонних, залізобетонних конструкцій;
- теоретичне обґрунтування створення електропровідних складів проникної дії на основі портландцементу та комплексної хімічної добавки для ремонту та екранного захисту від електрокорозії конструкцій та споруд залізниць;
- експериментальні дослідження впливу електропровідних наповнювачів на електрофізичні та фізико-механічні властивості затверділих складів проникної дії на основі портландцементу та комплексної хімічної добавки, розробка складів;
- фізико-хімічні дослідження впливу електропровідних наповнювачів на фазовий склад і структуру каменю портландцементу з комплексною хімічною добавкою;
- розробка, дослідження і досвідне впровадження електропровідного складу проникної дії на основі портландцементу та комплексної хімічної добавки для ремонту та екранного захисту бетонних і залізобетонних конструкцій і споруд залізниць.

Об'єкт дослідження – електропровідні склади на основі портландцементу, комплексної хімічної добавки та електропровідного наповнювача для ремонту і екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць.

Предмет дослідження – властивості електропровідних складів на основі портландцементу, комплексної хімічної добавки та електропровідного на-

повнювача для ремонту і екранного захисту від електрокорозії конструкцій і споруд залізниць, явища і процеси, що протікають під час твердіння та експлуатації покриття і забезпечують його електрофізичні та фізико-механічні властивості.

Наукова гіпотеза: Для ремонту конструкцій із бетону, що піддаються електрокорозії від струмів витоку з рейок електрифікованих залізниць, доцільно застосовувати покриття складами на основі портландцементу з комплексної хімічної добавкою, що забезпечує проникну дію, та електропровідним наповнювачем. Комплексна хімічна добавка забезпечує ущільнення і підвищення електричного опору поверхневого шару бетону конструкції, а електропровідний наповнювач – електропровідність самого покриття, яке у разі його заземлення дренує струми витоку, виконуючи функції екранного захисту конструкції.

Методи дослідження. При обстеженні стану будівель і споруд поблизу електрифікованих постійним струмом залізничних колій струми витоку з рейок через обводнені бетонні, залізобетонні та кам'яні конструкції оцінювали за результатами вимірювань електричних потенціалів відповідно до розроблених на кафедрі БМКС УкрДУЗТ за участю автора оригінальними методами, схемами вимірювань за допомогою оригінальних датчиків (мідно-сульфатних електродів), цифрових мультиметрів.

Залежності фізико-механічних і електрофізичних властивостей розроблених складів від змісту комплексної хімічної добавки і електропровідного наповнювача визначали прямим експериментом, варіюючи зміст добавки і наповнювача і визначаючи для кожного складу ці властивості.

Фізико-механічні властивості досліджуваних складів – міцність на стиск, густину, водопоглинання, коефіцієнт розм'якшення (водостійкість) визначали стандартними методами на зразках-призмах розміром $40 \times 10 \times 10$ і $160 \times 40 \times 40$ мм. Адгезію (зчеплення) складів до поверхні бетону визначали випробуванням на відрив. Склад продуктів гідратації цементу з комплексної

хімічної добавкою і електропровідним наповнювачем досліджували методами рентгенофазового аналізу та інфрачервоної спектроскопії. Електрофізичні характеристики покриттів і їх ефективність (спосібність знижувати струми, що протікають крізь конструкцію) досліджували за допомогою оригінальних авторських методик і лабораторних установок.

Наукова новизна одержаних результатів

Встановлено вперше:

- аналітичну залежність питомого електричного опору та питомої електропровідності композиційного матеріалу від питомого електричного опору наповнювача і матриці, структурних характеристик і складу композиту, фізичних властивостей його компонентів;
- 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.
- запропонований новий показник ефективності екранного захисту електропровідною композицією від електрокорозії (відношення сили струму крізь конструкцію із захисним екраном до сили струму крізь незахищену конструкцію) залежить від відсотку площі контакту металевого заземлення з покриттям електропровідною композицією.

Набуло подальшого розвитку:

- схеми протікання струмів витоку з рейок залізничної колії крізь незахищені та захищені електропровідними екранами конструкції споруд, механізм руйнування бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій від впливу постійного пульсуючого електричного поля;
- уявлення про структуроутворення графітонаповнених композицій проникної дії та формування контактної зони «бетонна поверхня – покриття із композиції», згідно яким комплексна хімічна добавка композиції забезпечує ущільнення і підвищення електричного опору поверхневого шару бетону конс-

трукції, а електропровідний наповнювач – електропровідність покриття, яке у разі його заземлення дренує струми витоку, виконуючи функції екранного захисту конструкції.

Достовірність і обґрунтованість одержаних результатів досягнуті шляхом застосування надійних незалежних методів теоретичних та експериментальних досліджень, у т.ч. фізико-механічних випробувань, фізико-хімічних і електрометричних досліджень, та підтверджені їх узгодженістю між собою та з результатами експлуатаційних випробувань.

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

Практичне значення одержаних результатів. За результатами досліджень розроблено та впроваджено графітнаповнену композицію для захисту будівель і споруд залізничного транспорту від електрокорозії. Розроблена технологія приготування композиції і захисту нею конструкцій із бетону та кам'яної кладки. У співавторстві розроблений і введений у дію ряд рекомендаційних документів Укрзалізниці з питань ремонту та захисту будівель і споруд залізничного транспорту.

Результати досліджень впроваджені у розробленні конструктивно-технологічних рішень з відновлення експлуатаційних властивостей і захисту від корозії будівель станційних комплексів Південної залізниці.

Отриманий економічний ефект від впровадження результатів досліджень, обґрунтований виконанням заходів із захисту від електрокорозії пошкоджених конструкцій, часткова участь автора в якому становить 782,7 тис. грн. (додаток Д).

Розроблено інструктивні документи «Укрзалізниці»: «Рекомендації із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць» [29], «Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів» [30], «Рекомендації із виявлення зон надлиш-

кового заряду, створюваного струмами витоку з рейкових колій, та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах» [31] (Додаток Г).

Результати досліджень застосовані у навчальному процесі УкрДУЗТ під час підготування спеціалістів і магістрів за спеціалізаціями «Технічна експлуатація споруд залізничного транспорту» (спеціальність «Залізничні споруди та колійне господарство»), «Утримання та реконструкція будівель залізничного транспорту» (спеціальність «Промислове та цивільне будівництво»), а також спеціалізацій «Будівництво та експлуатація інженерних споруд залізничного транспорту» і «Промислове та цивільне будівництво» спеціальності нової номенклатури 192 «Будівництво та цивільна інженерія»: у лекційних курсах, циклах лабораторних і практичних занять з дисциплін «Захист будівельних конструкцій від корозії» і «Відновлення експлуатаційних властивостей і захист будівель та споруд», у дипломному проектуванні.

Особистий внесок здобувача:

Огляд літератури за тематикою дослідження, більшість фізико-механічних випробувань, електрометричних і фізико-хімічних досліджень, обробка їх результатів і отримання експериментальних залежностей, розрахунки виконані автором особисто; формулювання наукової гіпотези і теоретичні обґрунтування – спільно з науковим керівником; натурні дослідження, впровадження результатів досліджень - спільно зі співавторами публікацій. Особистий внесок автора у спільні публікації відображений у переліку опублікованих робіт.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження доповідались: на 5–6 Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми надійності і довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» Трансбуд (Харків, 2015, 2017); Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (Харків, 2014), 69-й науково-технічній конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури (Хар-

ків, 2014); Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні технологічні рішення в будівництві із використанням бетонів нового покоління» (Харків, 2015) [32-38]; 74–79 Міжнародних науково-технічних конференціях Українського державного університету залізничного транспорту (Харків, 2012–2017) [39-43].

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць, з них 5 [44-48] статей у фахових виданнях рекомендованих МОН України, в тому числі – 3 у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази; патентів на винахід – 1 [49]; 8 Праць апробаційного характеру [31–38, 50], з яких 1 – у матеріалах конференції що індексується в Scopus [50]; 1 – додаткова публікація [51].

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, основних висновків, списку літератури зі 170 найменувань на 18 сторінках; містить 124 сторінку основного тексту, 75 рисунків, 14 таблиць, 6 додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ЇХ УШКОДЖЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

1.1 Аналіз основних руйнівних впливів на конструкції будівель і споруд на залізницях України

Виконано критичний аналіз найбільш значущих робіт у галузі теоретичних та експериментальних досліджень довговічності будівель і споруд з бетону, залізобетону, кам'яної кладки. Далі наведено результати аналізу робіт таких дослідників, як С.М. Алексєєв, В.С. Артамонов, В.І. Бабушкін, Є.А. Гузеєв, Ф.М. Іванов, В.А. Кінд, І.А. Корнфельд, А.В. Котельніков, В.М. Москвін, О.П. Мchedлов-Петросян, А.А. Пługін, А.М. Пługін, В.А. Притула, Є.П. Селедцов, В.М. Слукін, О.О. Старосельський, І.В. Стрижевський, тощо.

Із зазначених робіт проаналізовані відомості про деструктивний вплив струмів витоку на конструкції будівель і споруд залізничного транспорту і ступінь їх захищеності. Проаналізовано механізми корозії і електрокорозії бетонних, залізобетонних, кам'яних конструкцій. Незважаючи на значну кількість робіт зазначених та інших авторів, 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. 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. За результатами виконаних обстежень великої кількості будівель і споруд залізниць України зроблено висновок, що норми недооцінюють дійсну електрокорозій-

ну небезпеку в умовах обводнення.

Дисертаційна робота розвиває наукову школу А.М. Плугіна. Представниками школи Д.А. Плугіним, Л.В. Трикоз, В.А. Лютим, О.А. Плугіним, О.С. Борзяк, О.А. Конєвим, О.А. Забіякою, С.Г. Нестеренком досліджено вплив струмів витоку і надлишкових електричних зарядів на бетон, залізобетонні конструкції, кам'яну кладку. Показано, що на утворення тріщин та пошкодження конструкцій з бетону і кам'яної кладки будівель станційних комплексів, водопропускних труб, мостових опор і полотна основний руйнівний вплив чинить пульсуючий односпрямований струм витоку з рейкової колії з тривалістю імпульсу кілька хвилин і надлишкові електричні заряди в конструкціях, ним створювані. Показано, що небезпечна відстань від колії щодо впливу струмів витоку досягає 50–100 м. В обводнених конструкціях односпрямований пульсуючий струм призводить до виносу гідроксиду кальцію з цементного каменю бетону або розчину. Викладене дозволяє припустити, що однією з основних причин пошкоджень конструкцій із бетону та кам'яної кладки є надлишкові електричні заряди різного походження в поєднанні з обводненням.

Згідно з раніше розробленою в УкрДУЗТ схемою, струм витоку (блукаючий струм) протікає через конструкції фундаментів і цоколя будівель, руйнуючи їх електрокорозійно, проте, ця схема не враховує інших шляхів протікання, що знижує ефективність технологічних рішень щодо захисту будівель.

На балансі «Укрзалізниці» знаходиться більше 20 тис. будинків і службово-технічних споруд, а також велика кількість інженерних споруд колійного господарства. За результатами вивчення експлуатаційної документації та натурних обстежень встановлено, що більше 38% будівель і споруд експлуатуються з простроченими термінами капітального ремонту, а деякі з них знаходяться в аварійному стані, створивши небезпеку для пасажирів. Ці об'єкти активно експлуатуються і від ефективного, своєчасного та якісного ремонту залежить їх надійність, довговічність, естетичний вигляд, а також безпека руху і пасажирів.

В даний час в країнах Європи проводиться реконструкція залізниць, це пов'язано з підвищенням швидкостей руху і, відповідно, проводяться роботи по ремонту і реконструкції будівель і споруд. В результаті підвищених механічних (статичних і динамічних), а також електричних впливів, пов'язаних зі швидкісним рухом, деякі конструкції та елементи будівель і споруд схильні до інтенсивного зносу. Тому перед дослідниками ставляться завдання по розробці ефективних і недорогих засобів ремонту будівель і споруд на ділянках з підвищеними швидкостями.

Відома велика кількість матеріалів і способів ремонту будівель і споруд в міських умовах. Однак вони не враховують багатьох руйнівних впливів на будівлі та споруди, які експлуатуються на обводнених ділянках поблизу електрифікованих постійним струмом залізниць. Тому такі матеріали часто виявляються недовговічними і потребують вдосконалення та адаптації під конкретні умови. Основною причиною цього є недосконалість офіційних рекомендаційних і нормативних документів [5, 6, 24, 52], які ґрунтуються на недосконалих уявленнях про електрокорозію бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій від спільної дії обводнення і постійного струму витоку з рейкової колії.

Виходячи з викладеного, науковим колективом кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДУЗТ протягом ряду років досліджень і розкриття механізму витоку і натікання струмів на конструкції в умовах обводнення, механізми електрокорозійного руйнування конструкцій і споруд [9], розроблений ряд нових, більш удосконалених матеріалів і конструктивно-технологічних рішень для ремонту і захисту будівель та споруд від електрокорозії [53, 54], в тому числі шляхом влаштування заземлених, струмопровідних, метало-ін'єкційних екранів в [32] або, навпаки, покриттів з підвищеним електроопором [1]. В даний час багато з них впроваджено, конструкції і споруди виведені з числа аварійних та забезпечено їх надійний захист.

Однак метало-ін'єкційні екрани металоємні й дорого коштують та їх доцільно застосовувати для конструкцій, які потребують відновлення в значній

мірі втраченої несучої здатності. Для конструкцій, які потребують відновлення тільки поверхневого шару, доцільно застосування в якості ремонтного складу і захисного екрана одночасно електропровідних композицій на основі портландцементу. Оскільки застосування таких композицій в якості захисних екранів не досліджене, для обґрунтування їх складу виконаний критичний аналіз існуючих уявлень про електрокорозію та захист від неї бетонних і залізобетонних конструкцій.

З початку ХХ ст. у світі з'являються публікації, присвячені корозії конструкцій і споруд із портландцементного бетону. Проте ці дослідження, як правило, були досить вузькі і стосувались впливу певних середовищ – морської води, стічних вод, або певних хімічних сполук. Природно, що автор більш детально освічений з питань розвитку уявлень про корозію та електрокорозію з російськомовними джерелами. Одним із перших досить велику працю з корозії бетону і залізобетону опублікував В.А. Кінд [55], проте вона з точки зору сучасних уявлень ще не має системного характеру і в ній ще немає нічого щодо електрокорозії. Можна вважати, що сучасні більш-менш системні уявлення про корозію та електрокорозію бетону і залізобетону у світі склались к 1950-60-м рр. У СРСР це пов'язано з ім'ям В.М. Москвіна, який запропонував широко відому класифікацію корозії портландцементного каменю і бетону у рідких середовищах за трьома видами [56]. У той же час одними із перших В.С. Артамонов розробив обґрунтовані системні заходи із захисту від корозії залізобетону [57], С.В. Шестоперов дослідив агресивні впливи на конструкції та споруди залізничного транспорту і також розробив заходи із забезпечення їх довговічності [58], проте електрокорозія залишилась поза їх увагою. Пізніше В.М.Москвін зі своїми послідовниками С.Н. Алексєєвим, Ф.М. Івановим, Є.А. Гузеєвим підготували масштабну працю [59], в якій вже наведено результати досліджень корозії бетону у газових середовищах, карбонізації захисного шару бетону і корозії арматури внаслідок неї, яку деякі дослідники намагались потім називати корозією четвертого виду за В.М. Москвіним, більш детально пророблено заходи із захисту. Вказана

класифікація В.М. Москвіна була покладена в основу стандартів із захисту від корозії СРСР і Ради економічної взаємодопомоги – РЕВ [24, 60, 61].

Паралельно з цими масштабними проте суто експериментальними дослідженнями В.І. Бабушкін [62] вперше застосовує до процесів корозії цементного каменю положення хімічної термодинаміки, виконує термодинамічні розрахунки реакцій корозії, визначає їх рівноваги, які дозволили встановити умови протікання і запобігання корозійних процесів, а А.Ф. Полак і В.Б. Ратінов досліджують кінетику хімічних реакцій корозії [63]. На жаль, ці положення до електрокорозії не були застосовані. В.І. Бабушкін також розробив більш універсальну, ніж В.М. Москвін, класифікацію корозійних процесів за факторами, які обумовлюють ці процеси – механічні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біохімічні [62]. Ці дослідження дозволили колективу авторів [56, 59, 62, 63] у 1986 р. здобути Державну премію СРСР в галузі науки і техніки.

Пізніше С.Н.Алексєєв, І.А.Гузєєв спільно з угорським вченим С.Модри та німецьким П.Шислем підготували просторовий труд з довговічності бетону і залізобетону [64], де розвинули положення [59] щодо мікробіологічної корозії, кінетики корозійних процесів.

Вже у 2000-ні рр. один із відомих вчених-корозіоністів В.Л.Чернявський, використовуючи методи і положення [59, 62, 63, 64], встановив здатність бетону до адаптації, яка за його думкою полягає у доволі повільному поступовому збільшенні його стійкості до впливу певного середовища під цим впливом [64].

Вчені дальнього зарубіжжя, наприклад, Р.Sandberg, L.-O.Nillson та ін. [66], J.Stark, В.Wicht т ін. [67, 68, 69], застосовуючи сучасні фізико-хімічні методи досліджень, зокрема скануючу електронну мікроскопію дуже високої якості [66, 67, 68], підтвердили і розвинули положення [58, 61, 62, 63].

С.Й.Солодкий [70], С.М.Толмачов [71] дослідили спільний вплив корозії і механічних навантажень на цементобетонні автодорожні покриття, створи-

ли наукові основи підвищення їх довговічності, причому С.М.Голмачов вперше здійснив аналіз поведінки бетону у таких специфічних умовах експлуатації на основі положень і закономірностей колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів.

Електрокорозія вперше була вивчена стосовно протяжних підземних металевих споруд, де за певних умов вона розвивається дуже швидко і за декілька місяців може спричинити наскрізні пошкодження у трубопроводі або металевій оболонці кабелю. Відомі роботи І.В.Стрижевського зі співр. із захисту підземних споруд від електрокорозії [72], проте вони стосуються лише металевих конструкцій. Дослідили електрокорозію конструкцій та споруд залізниць та розробили ефективні способи захисту від неї І.А.Корнфельд, В.А.Притула, І.М.Єршов, Є.П.Селедцов, А.В.Котельников, В.О.Бондар [73-78], які вважали, що у залізобетоні електрокорозія відбувається лише з арматурою.

Електрокорозію арматури в залізобетоні докладно дослідили також в ХПТі (тепер УкрДУЗТ) О.О.Старосельський, О.П.Сівцов, О.Г.Ольгінський [79-82]. В результаті цих досліджень вони вперше встановили, що під час електрокорозії залізобетону змінюється і його бетон. Зокрема, у [80-82] автори відзначили, що спостерігали розкладання продуктів гідратації цементу у приарматурній зоні внаслідок протікання постійного струму, а у [79, 81] встановили, що змінний струм також обумовлює розкладання продуктів гідратації цементу, для кожного з яких вони визначили критичні частоти струму, за яких це відбувається.

У 2000-ні рр. у зв'язку із погіршенням стану конструкцій і споруд на електрифікованому транспорті за завданням переважно «Укрзалізниця» в УкрДУЗТ під керівництвом А.М.Плугіна і А.А.Плугіна були поновлені дослідження впливу струмів витоку з рейок електрифікованих залізниць на конструкції і споруди [83, 84, 3, 4]. У складі цих досліджень А.А.Плугін встановив, що практично всі руйнівні процеси в бетоні і цементному камені відбуваються за умов їх обводнення – зволоження або водонасичення [83].

О.А.Плугінін і О.С.Борзяк [4, 9, 86-88] було встановлено, що на конструкції та споруди залізниць, електрифікованих постійним струмом, впливає пульсуючий однонаправлений електричний потенціал ПООП, частоту і амплітуду якого визначає режим проходження електричного рухомого складу секцією контактної мережі, в яку як зворотній провідник входить і рейкова колія. На відзнаку від постійного потенціалу і струму, які внаслідок здатності бетону поляризуватись не обумовлюють його корозії, саме ПООП спричиняє електрокорозію водонасичених або вологих бетону і розчину кам'яного мурування, яка полягає у їх інтенсивному електроміграційному вилугуванні. В результаті проведених досліджень встановлена залежність кількості винесеного із бетону через таке вилугування гідроксиду кальцію (і, як наслідок, зниження міцності бетону) від кількості електрики, перенесеної крізь бетон (у перерахунках на одиницю об'єму) [84, 86].

О.А. Дудінін було встановлено, що електрокорозійний вплив на бетон, хоча і менший, ніж ПООП, спричиняють і перемінні потенціал і струм з контактної колії ділянок залізниць, електрифікованих перемінним струмом з напругою 27 кВ [89, 90]. Механізм їх впливу інший – розчинення продуктів гідратації від впливу потенціалу і струму частоти, близької до критичної за [10, 11, 90].

В подальшому дослідженнями наукової школи УкрДУЗТ було показано, що електрика може спричинити на бетон не тільки електрокорозійний вплив – гідроліз та електроміграційне винесення продуктів гідратації, а й силовий. В.А.Лютій [91] доводив, що повзучість бутобетону масивних мостових опор, що спричиняє утворення тріщин в їх облицюванні, обумовлена сполученням циклічних навантаження і струму витоку від проходження мостом поїздів.

Д.А.Плугін, О.А.Конєв, О.А.Забіяка [92-94] показали, що струми витоку з рейкової колії та відповідні потенціали обумовлюють накопичення на конструкціях надлишкових електричних зарядів у вигляді їх макрополяризації, які спричиняють розтискувальні сили в бетоні, особливо, у його мікротріщинах, і утворення та розвиток тріщин. Л.В.Трикоз, О.А.Забіяка,

С.Г.Нестеренко [95, 94, 1] доводили, що надлишкові електричні заряди на конструкціях можуть накопичуватись не тільки від струмів витоку з джерел постійного струму, отже, бути антропогенного походження, а й мати природне походження від геологічних та гідрогеологічних процесів, зокрема, за рахунок розділення електричних зарядів по глибині землі, від вимивання і перенесення іонів (переважно катіонів кальцію, натрію, калію) поверхневими водами від опадів, водотоків, які разом спричиняють макрополяризацію місцевості і накопичення зарядів на конструкціях.

В усіх аналізованих роботах [1, 83-95] пропонувались різні заходи захисту конструкцій та споруд від електрокорозії та надлишкових електричних зарядів. Так, у [88] проаналізовано досвід застосування у розробках наукової школи УкрДУЗТ конструктивно-технологічних рішень ремонту штучних споруд залізниць (водопропускних труб, мостових опор, стояків пасажирських платформ) за допомогою заземлених металоін'єкційних сорочок, обойм [3]. Це рішення полягає в улаштуванні на ослабленій пошкодженнями конструкції закріпленої анкерами металевої оболонки, в зазор між нею і поверхнею конструкції нагнітають суперпластифіковану цементно-водну суспензію. На ділянках, електрифікованих постійним струмом, з позитивним потенціалом на рейці, оболонку заземлюють через вентиль (діод). Таке поляризоване заземлення під час подальшої експлуатації надійно захищає саму оболонку, арматуру, бетон та/або мурувальний розчин конструкції від струмів витоку та електрокорозії. Проте таке рішення достатньо дороге і доцільне для застосування за необхідності відновлення втраченої несучої здатності конструкції зі значними пошкодженнями (корозія арматури, вивали тощо).

У [1, 13] для захисту від електрокорозії пропонується, навпаки, застосування полімерцементних штукатурок з підвищеним електричним опором, призначеним для зниження сили і густини струму до небезпечних величин. Проте у вологому стані такі розчини все ж таки не є повними ізоляторами і, хоч і знижують силу струму та уповільнюють електрокорозійні процеси, не припиняють їх повністю.

Із зазначених публікацій проаналізовані відомості про електрокорозію конструкцій будівель і споруд залізничного транспорту і ступеня їх захищеності. Проаналізовано механізми корозії і електрокорозію кам'яних, бетонних і залізобетонних конструкцій. Незважаючи на велику кількість робіт цих та багатьох інших авторів, фундаментальних досліджень і відповідних теоретичних уявлень в області захисту від руйнівних впливів струмів витоку і блукаючих струмів на конструкції будівель і споруд залізничного транспорту дуже мало. Для забезпечення довговічності бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій в умовах обводнення і постійного струму витоку відібрані найбільш застосовні уявлення, які дозволяють розкрити дійсний механізм електрокорозійного руйнування. Проаналізовано існуюче нормування і порядок визначення електрокорозійної небезпеки залізобетонних конструкцій на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом. Виходячи з результатів обстежень великої кількості будівель і споруд залізниць України можна зробити висновок, що норми недооцінюють їх дійсну електрокорозійну небезпеку в умовах обводнення.

Ця робота є продовженням досліджень А.М. Плуґіна і А.А. Плуґіна із співр. [83-102]. Вона присвячена дослідженням руйнівних впливів постійного електричного струму на обводнені кам'яні, бетонні та залізобетонні конструкції залізничних будівель і споруд, розробці нових струмопровідних і, в той же час, естетичних захисних і ремонтних складів, захисних екранів з них та удосконаленню схем відведення струмів витоку з їх допомогою на заземлення.

З названих вище робіт відомо, що під час експлуатації інженерних споруд і будівельних конструкцій залізничного транспорту, незалежно від віддаленості від залізничної колії, вони схильні до різних експлуатаційних впливів - фізичних, фізико-хімічних, механічних, хімічних, електрохімічних, біохімічних, сейсмічних. Залежно від умов і конструктивних особливостей будівель та споруд ці дії можуть викликати руйнівні процеси в конструкціях і можуть

привести до передчасної втрати їх міцності, а отже до незапланованих ремонтів та загрозу життю пасажирів.

Механічні дії - силові, ударні, стирання, сейсмічні й вибухові, біологічні (механічні дії біологічних об'єктів). Фізичного впливу - атмосферні - почергове заморожування і відтавання, вологостні деформації, почергове зволоження і висушування, температурні деформації, сонячна радіація. Техногенні, надвисокі або наднизькі температури, відкритий вогонь, радіоактивне випромінювання тощо [62].

В результаті досліджень [3, 26, 28], виконаних у т. ч. за участю автора та які включають аналіз експлуатаційної та звітної документації, анкетування обґрунтованих вибірок причетних фахівців, була отримана оцінка впливу основних із зазначених факторів, а також струмів витоку на стан конструкцій будівель і споруд на залізницях. У табл. 1.1 представлені дані про частку протяжності залізничних ліній, електрифікованих постійним струмом, а на рис. 1.1 - графіки залежності показників зносу будівель і споруд від цієї частки.

Таблиця 1.1

Дані про електрифікацію залізниць України

Регіональні філії ПАТ «Укрзалізниця»	Довжина ділянок, км / %			
	Всього	Електрифікованих		Неелектрифікованих
		постійним струмом	перемінним струмом	
Донецька	2601	1060	58	1483
	100	40,8	2,2	57,0
Львівська	4129	778	497	2854
	100	18,8	12,0	69,1
Одеська	3754	0	1678	2076
	100	0,0	44,7	55,3
Південна	2437	683	264	1490
	100	28	10,9	61,1
Південно-Західна	4209	0	1732	2477
	100	0,0	41,1	58,9
Придніпровська	2775	1557	0	1218
	100	56,1	0,0	43,9
Усього	19905	4078	4229	11598
	100	20,5	21,2	58,3

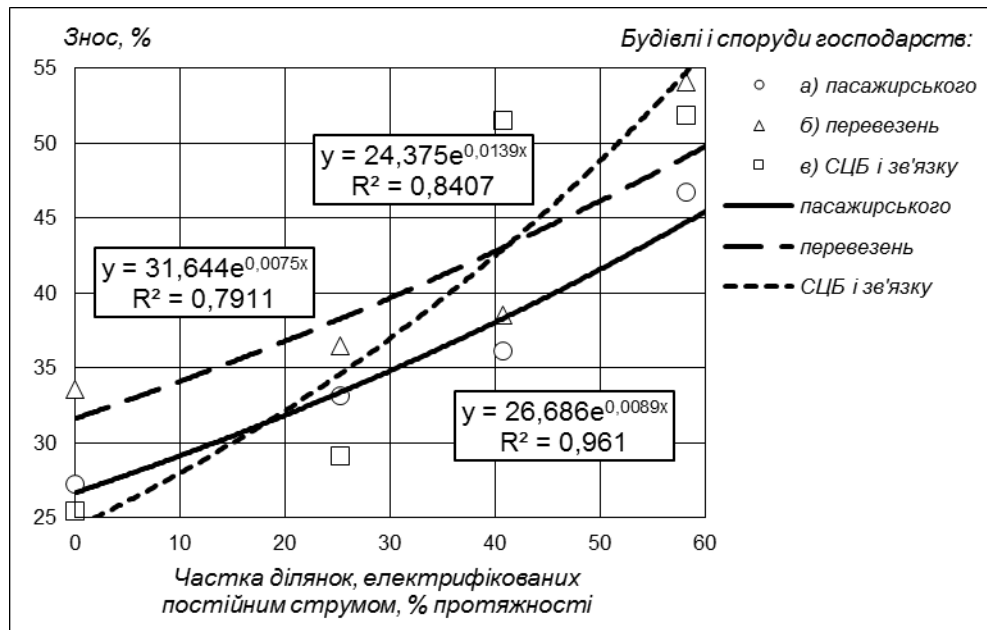


Рис. 1.1 Залежність зносу будівель та споруд від частки протяжності залізничних ліній, електрифікованих постійним струмом: а – пасажирського господарства (пасажирських платформ, перонів, будівель вокзалів, павільйонів, туалетів тощо); б – господарства перевезень (адміністративно-побутових будівель, стрілочних постів тощо); в – господарства сигналізації і зв'язку

Як бачимо, узагальнені для регіональних філій ПАТ «Укрзалізниця» показники зносу будівель та споруд залежать від притаманної кожній філії частки протяжності залізничних ліній, електрифікованих постійним струмом, практично прямо пропорційно або навіть із деяким зростанням. Це підтверджує те, що струми витoku є найвпливовішим руйнівним фактором для будівель та споруд залізниць.

Таким чином, статистичний аналіз показав, що знос будинків і споруд на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом, значно вище, ніж на не електрифікованих ділянках.

1.2 Дослідження пошкоджених будівель та споруд на залізничних лініях, електрифікованих постійним струмом

1.2.1 Пошкодження конструкцій станційних будівель

У [3] визначено, що близько 25% будівель, наявних на балансі залізниць, розташовуються ближче 100 м від електрифікованих постійним струмом залізничних шляхів. Також встановлено, що з усіх руйнуючих чинників, найбільший вплив мають постійні струми витoku зі ступенем впливу 15%, що в 2 рази більше ступеня впливу наступного фактора - поперемінного заморожування і відтавання. У разі спільної дії різних руйнуючих факторів вони, як правило, підсилюють один одного, істотно прискорюючи руйнування.

В результаті аналізу результатів обстежень будівель і споруд вокзальних комплексів на електрифікованих постійним струмом залізничних лініях [3] були визначені їх найбільш значущі пошкодження, частина яких представлена на рис. 1.2.

Проведено обстеження будівель вокзальних комплексів, що знаходяться в зоні дії електричних струмів, а також дослідження поширення струмів витoku і блукаючих струмів від електрифікованих колій. Встановлено, що під час проходження поїздів з електричною тягою постійний потенціал на рейках може досягати +50 В і більше і поширюватися по місцевості в залежності від типу і вологості ґрунтів на десятки метрів. Встановлено залежності електричного потенціалу на конструкціях будівель, зокрема, поверхні цоколя, від величини потенціалу на рейках. Приклад такої залежності наведено на рис. 1.3. Як бачимо, залежність прямо пропорційна, однак тангенс кута її нахилу визначається відстанню від шляху, матеріалом і вологістю конструкції, типом і вологістю ґрунтів. Максимальні величини потенціалу на поверхні цоколя будівлі відзначалися на рівні +2 В.

а)



б)



в)



г)



Рис. 1.2 Характерні пошкодження будівель вокзалів на електрифікованих постійним струмом ділянках залізниць (вокзал ст. Чистенька Придніпровської залізниці): а – загальний вигляд зі сторони залізничних колій; б – вертикальні

та похилі тріщини у верхній частині стін; ϵ – вертикальні тріщини та відшарування штукатурки у нижній частині стін; ζ – горизонтальні тріщини між стіною та вимощенням

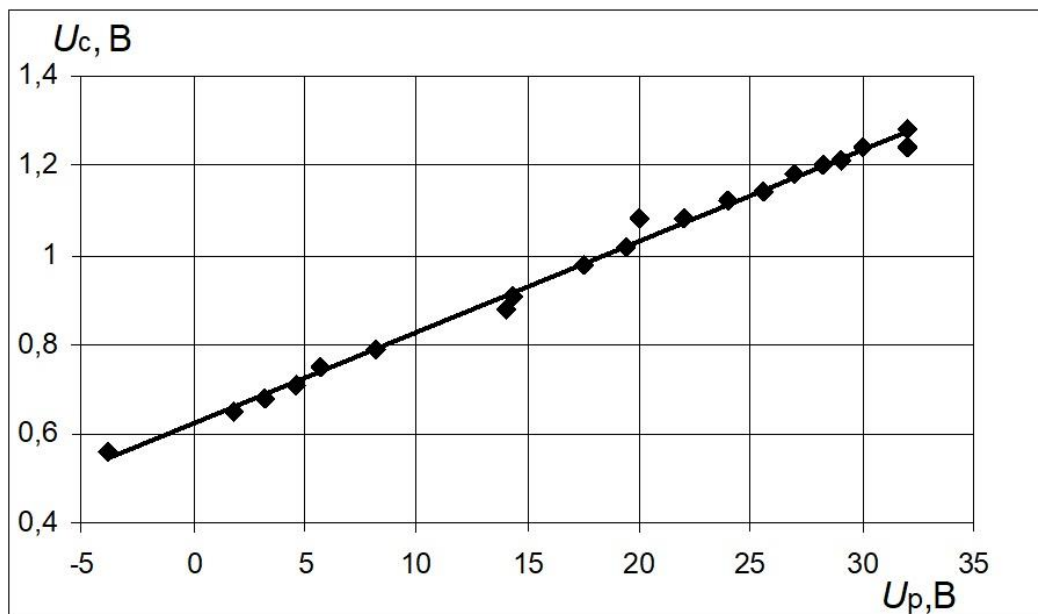


Рис. 1.3. Залежність електричного потенціалу U_c на зовнішній стіні (цоколі) будівлі вокзалу ст. Чистенька від потенціалу U_r на рейці 2-ї колії

Таким чином, в результаті аналізу результатів натурних досліджень будівель, розташованих поблизу електрифікованих постійним струмом залізничних колій, встановлено, що величини електричних потенціалів на їх конструкціях залежать від величин електричних потенціалів на рейках прямо пропорційно, а тангенс кута нахилу цієї лінійної залежності визначається відстанню від колії, матеріалом і вологістю конструкції, типом і вологістю ґрунтів. Величини потенціалів досягають +2В, а характерними пошкодженнями, обумовленими їх впливом, є тріщини і поверхневе руйнування.

1.2.2 Схеми протікання струмів витоку через конструкції станційних будівель

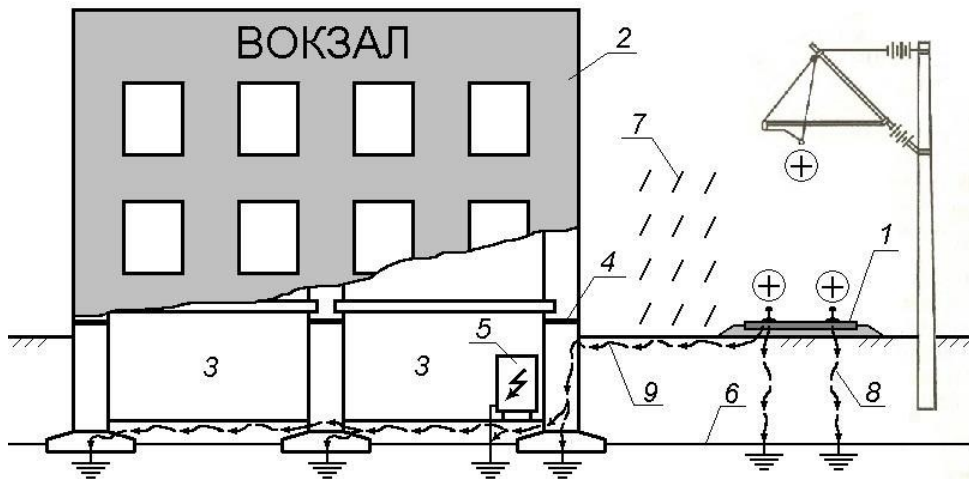
У [3] показано, що струми витоку і блукаючі струми від рейок електрифікованих постійним струмом залізниць викликають електрокорозію металевих конструкцій та арматури залізобетонних конструкцій. Однак експлуатація будівель і споруд біля електрифікованих залізниць показує, що в конструкціях з бетону і кам'яної кладки пошкодження також утворюються набагато швидше, ніж далеко від джерел струму. Авторами досліджень було припущено, що блукаючі струми можуть прискорювати пошкодження бетону і розчину кам'яної кладки, знижувати довговічність будівель і споруд і приводити до збільшення витрат на їх утримання і ремонт. Дослідження впливу струмів витоку і блукаючих струмів на будівлі і конструкції залізниць дозволило встановити критерії небезпеки корозії, розробити заходи щодо захисту від неї, підвищенню довговічності будівель і споруд та зниження витрат на їх утримання і ремонт.

Потенціали на рейках, і, відповідно, на поверхні ґрунту і конструкціях будівель і споруд виникають лише під час проходження поїздів з електричною тягою (вантажних і пасажирських поїздів з електричною тягою, електропоїздів). Під час проходження поїзда з електричною тягою постійного струму позитивний потенціал з рейок передається по ґрунту в глибину і по поверхні, убуваючи з відстанню, потрапляє на зовнішню поверхню бетонної або залізобетонної конструкції, конструкції з цегли або каменю зі швами з цементно-піщаного розчину, викликає протікання струму через вологий бетон або розчин в землю (рис. 1.4, *a*).

Від відстані будівлі або споруди до електрифікованої постійним струмом залізничної колії, стану покриття перону, вологості ґрунту між ними, підрейкові підстави, наявності підземних споруд та електричних установок безпосередньо залежать величини потенціалів на будівлі або споруді та, отже, ступінь їх ушкоджень. Ці характеристики впливають на величину струму

витоку з рейок через конструкції будівлі в землю і, відповідно, на величину електричного потенціалу на конструкціях будівлі. Інструментальні дослідження підтвердили викладені чинники і їх величини, які впливають на будівлі і споруди залізничного транспорту електрифікованого постійним струмом в умовах обводнення.

а)



б)

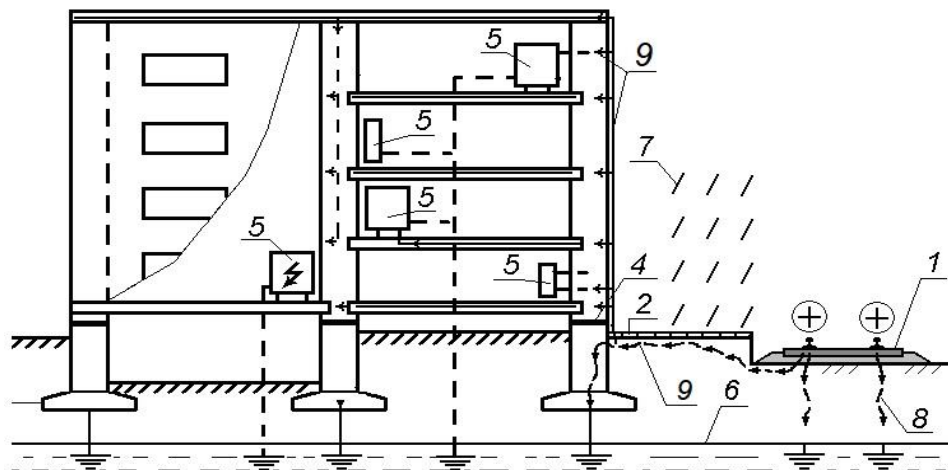


Рис. 1.4 Схема протікання струму через конструкції будівлі, розташованої біля електрифікованої постійним струмом залізничної колії, у т.ч. удосконалена з урахуванням протікання струмів крізь контури заземлення обладнання (б): 1 – електрифікована колія; 2 – будівля (на б – перон); 3 – сирий підвал; 4 – горизонтальна гідроізоляція; 5 – заземлене електрообладнання; 6 – рівень ґрунтових вод; 7 – атмосферні опади; 8 – блукаючий струм, що переважає в суху погоду; 9 – блукаючий струм, що переважає у сиру погоду

У [80] показано, що в залізобетонних конструкціях, що піддаються впливу електричного струму, біля арматури бетон піддається деструкції. Раніше були проведені теоретичні дослідження, які добре узгоджувалися зі спостерігаючимися ушкодженнями бетонних і кам'яних водопропускних труб, мостових опор, конструкцій пасажирських платформ [83-89]. Були зроблені наступні висновки:

- кризь споруди, розташовані біля електрифікованих залізничних колій, під час проходження поїздів з електричною тягою протікає електричний струм;
- на ділянках, електрифікованих постійним струмом, цей струм є односпрямованим пульсуючим з тривалістю імпульсу кілька хвилин;
- в конструкціях, що експлуатуються в умовах обводнення або контактують з вологими ґрунтами, односпрямований пульсуючий струм призводить до виносу гідроксиду кальцію з цементного каменю бетону або розчину, вилугування і карбонізації бетону;
- змінний електричний струм також прискорює розчинення продуктів гідратації цементу, в найбільшому ступені в області критичних частот;
- критичними є частоти: для гідроксиду кальцію - близько 80 Гц, для гідросилікатів кальцію - близько 550 Гц, для гідромоносульфоалюміната кальцію - близько 40 Гц, для етрінгіту - близько 100 Гц [79, 100];
- змінний струм промислової частоти 50 Гц, що протікає через бетон, призводить до розчинення гідроксиду кальцію і гідромоносульфоалюміната кальцію;
- деструктивний вплив електричного струму значно збільшується в конструкціях, які контактують з водою або омиваються нею (на водотоках); для будівель і споруд деструктивний вплив електричного струму значно збільшується в умовах водонасичених ґрунтів.

У [101] схема протікання блукаючих струмів через конструкції будівель була уточнена (рис.1.4, б). Аналіз уточненої схеми показує, що струм протікає через конструкції цоколя і фундаменту при наявності різниці потенціалів

між цоколем і віддаленою точкою землі, при цьому пошкодженню можуть піддаватися цоколь і фундамент будівлі. При наявності такої різниці потенціалів слід очікувати прискорення розвитку пошкоджень. Крім того, струм протікає через бетонні, залізобетонні, кам'яні конструкції будівель і споруд до найближчих точок заземлення обладнання і заземленим шинам.

З рис. 1.4, б видно, що блукаючі струми під час вологої погоди, коли поверхні шари ґрунту сильно зволожені та їх електроопір менше, ніж у глибинних шарів, можуть розтікатися на значні відстані від шляху і стікати в землю в місцях з меншим опором розтікання струму в ґрунті, ніж під рейковим шляхом. При цьому, якщо на шляху блукаючого струму розташована конструкція з струмопровідного матеріалу (металева, волога бетонна, залізобетонна, кам'яна або цегляна), він може протікати через конструкцію фундаменту в ґрунт або проходити через конструкцію в обладнання і через його заземлення або обнуління контуру в землю [99].

Оскільки покриття перону, як правило, не герметичне (наприклад, тротуарна плитка), вода під час дощу або сніготанення, потрапляючи в верхній шар ґрунту, зволожує його і накопичується в ньому [9]. Вона також сприяє утрудненню випаровування води з ґрунту, та, відповідно, зменшення його електричного опору. У період дощів матеріал стін намокає, при цьому електроопір стін різко знижується, і вони здатні проводити крізь себе або по своїй поверхні струми. Таким чином можуть утворюватися ланцюги «рейка - заземлювач електрообладнання» в будь-якому місці будинку.

Електрохімічний процес корозії матеріалів в конструкціях таких будівель полягає в тому, що по ланцюгах «рейка - заземлювач» конструкції стін і перекрить, а також ґрунт під плитками поляризуються, в результаті чого ланцюг ділиться на 2 ділянки (частини) - з негативним потенціалом (зарядом), розташованим ближче до заземлення, і позитивним, розташованим ближче до рейкового шляху. На цих ділянках протікають електрокорозійні процеси. Для стін будівлі небезпечним є вилуговування бетону і розчину стін, що призводить до утворення в зоні вилуговування негативного потенціалу і накопичен-

ня надлишкового заряду через винесення Катіонів Ca^{2+} . Це може сприяти виникненню тріщин в стінах та інших пошкоджень їх матеріалу.

У зазначених умовах експлуатації матеріал стін піддається набагато більш інтенсивному руйнуванню, використовувані матеріали для їх штукатурення, облицювання та захисту виявляються нестійкими до електрокорозійних процесів і їх термін служби значно знижується від нормованого.

1.2.3 Пошкодження конструкцій високих пасажирських платформ

Крім будівель поблизу електрифікованих залізничних колій розташовані службово-технічні споруди: високі та низькі пасажирські платформи, перони, пасажирські зупиночні пункти, переїзди, навіси, пішохідні мости, підземні та надземні переходи, шумозахисні та захисні огорожі.

На залізницях України на електрифікованих постійним струмом ділянках експлуатується близько 171 високої пасажирської платформи загальною площею близько 146500 м². З них на Південній – близько 84 (76480 м²) та на Придніпровській – 87 (70000 м²). На Донецькій, Львівській, Одеській і Південно-Західній залізницях високі пасажирські платформи на електрифікованих постійним струмом ділянках відсутні.

На електрифікованих перемінним струмом ділянках експлуатується близько 191 високої пасажирської платформи загальною площею близько 186200 м². З них на Одеській – близько 16 (19200 м²), Південній – 17 (13020 м²) та Південно-Західній – 158 (154300 м²). На Донецькій, Львівській, і Придніпровській залізницях високі пасажирські платформи на електрифікованих перемінним струмом ділянках відсутні.

Уточнено особливості улаштування високих пасажирських платформ. Встановлено, що на наступній час на залізницях України експлуатуються низькі та високі пасажирські платформи двох основних типів – із засипкою між залізобетонними бортовими стінками (тип I) і з покриттям із залізобетонних плит покриттів на опорах (тип II) [28]. Високі пасажирські платформи типу II збудовані за однією із чотирьох принципових схем із застосуванням як несую-

чих конструкцій опор залізобетонних стояків з ригелями або блоків бетонних для стін підвалів, а як покриття – залізобетонних ребристих плит або залізобетонних багатопустотних плит (рис. 1.5).

В експлуатації знаходиться набагато більше платформ типу II. Вони ж, незважаючи на достатньо жорсткі нормативні вимоги до показників міцності, морозостійкості, щільності бетону [103, 104], є найбільш пошкоджуваними [28]. Крім конструкцій на стійках та ригелях з покриттям із ребристих плит (рис. 1.5, а, б) побудована значна кількість платформ на опорах з бетонних блоків стін підвалів, в яких типова марка бетону М100 підвищувалась, як правило, до М200, а також з покриттям з багатопустотних плит.

Діючі на платформи руйнівні фактори - поперемінне заморожування і відтавання, вібрація, вплив сипучих і агресивних вантажів, які проливаються, агресивних ґрунтових вод, нерівномірні осідання, струми витоку з рейок на електрифікованих постійним струмом ділянках. Однак згідно з висновками, зробленими в п.1.1, найбільш руйнівним чинником є струми витоку і електричні потенціали з рейок.

У зв'язку з ушкодженнями, які швидко утворюються і розвиваються, платформи вимагають частого ремонту, в т. ч. з вибірковою заміною конструкцій (плит) або їх посиленням (опор).

За участю автора дисертації проведено натурні обстеження пасажирських платформ на 31 станції та зупиночному пункті на електрифікованих постійним та перемінним струмом ділянках Південної, Південно-Західної, Придніпровської залізниць. За результатами обстеження здійснено систематизацію пошкоджень високих пасажирських платформ відповідно до класифікації пошкоджень залізобетонних конструкцій [28] (табл. 1.2, рис. 1.5–1.11).

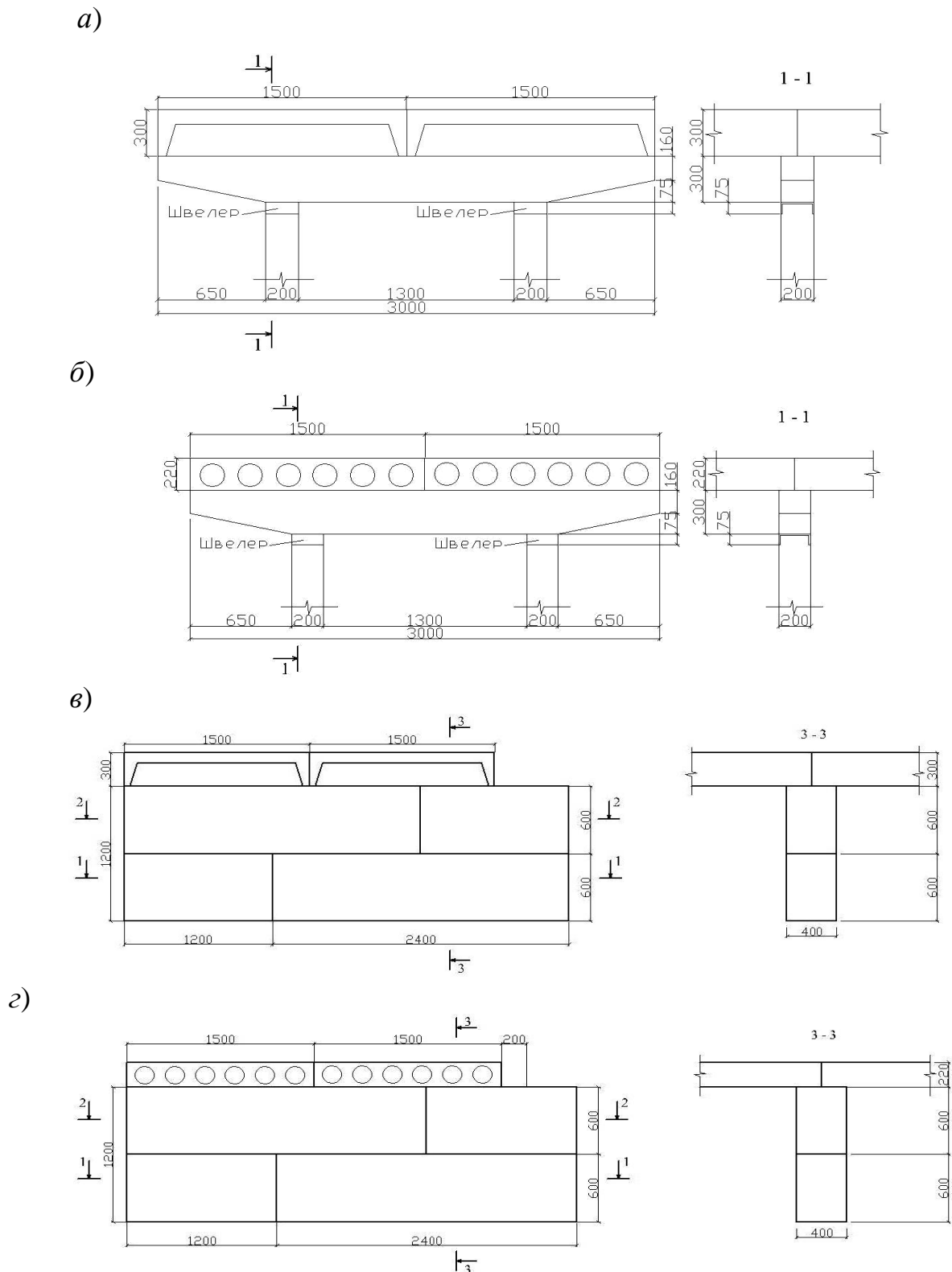


Рис. 1.5 Конструкція високих пасажирських платформ типу II: опори – залізобетонні стояки та ригель (а, б), або блоки бетонні для стін підвалів (в, г); покриття – залізобетонні ребристі плити (а, в) або залізобетонні багатопустотні плити (б, г)

Таблиця 1.2

Пошкодження високих пасажирських платформ та заходи з їх усунення

Конструктивний елемент	Опис та зовнішні ознаки пошкоджень	Ступінь пошкодження за [28]	Заходи з відновлення
1	2	3	4
Покриття платформи	Тріщини, відшарування, фільтрація або течії крізь плити або шви між ними (рис. 1.5, <i>a</i>)	Слабкий, середній	Відновлення або заміна покриття платформи із забезпеченням його водонепроникності
Плити покриття, ригелі	Вилуговування (рис.1.5, <i>b</i>) відшарування, розтріскування та відколи захисного шару, у т.ч. з оголенням арматури та її незначною корозією (рис. 1.6, <i>a</i>)	Слабкий	Відновлення захисного шару, нанесення захисного складу
	Відшарування та відколи захисного шару з оголенням та помітною корозією арматури (рис.1.6, <i>b</i>)	Середній	Відновлення захисного шару або підсилення плити, нанесення захисного складу
	Відшарування та відколи захисного шару зі значною корозією робочої арматури з помітним зменшенням її перерізу, руйнуванням розподільчої арматури, або із втратою зв'язку робочої арматури з бетоном (рис. 1.7, <i>a</i>)	Сильний	Підсилення або заміна плити (ригеля), нанесення захисного складу
Плити покриття, ригелі	Руйнування захисного шару із втратою зв'язку робочої арматури з бетоном або руйнуванням бетону стиснутої зони з помітним прогином плити (ригеля) (рис. 1.7, <i>b</i>)	Повний	Негайна заміна плити (ригеля), заміна або підсилення стояка, нанесення захисного складу
Стояки опор	Відшарування, розтріскування та відколи захисного шару, у т.ч. з оголенням арматури та її незначною корозією (рис. 1.8)	Слабкий	Відновлення захисного шару, нанесення захисного складу
	Відшарування, розтріскування та відколи захисного шару з оголенням та помітною корозією арматури	Середній, сильний	Підсилення стояка, нанесення захисного складу
	Руйнування бетону з втратою зв'язку арматури з ним, зі значною корозією арматури з помітним зменшенням її перерізу, руйнування хомутів	Повний	Негайне підсилення стояка, нанесення захисного складу
Опори (із блоків)	Вилуговування, поверхневе руйнування бетону (рис. 1.9, <i>a</i>)	Слабкий	Відновлення поверхневого шару бетону, нанесення захисного складу

Кінець табл. 1.2

1	2	3	4
Опори (із блоків)	Незначне руйнування бетону в зоні обпирання плит (рис. 1.9, б)	Середній, сильний	Підсилення опори*, нанесення захисного складу
	Руйнування бетону в зоні обпирання плит з їх «зависанням» (рис. 1.9, в) або порушенням проектного положення (рис. 1.10)	Повний	Негайне підсилення опори*, нанесення захисного складу

* На ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом, у разі позитивного або знакоперемінного потенціалу на рейках рекомендується підсилення металоін'єкційною сорочкою з діодним заземленням

Найбільш пошкодженою із обстежених була висока пасажирська платформа на зупиночному пункті Водяне дільниці Харків - Люботин Південної залізниці. Дільниця електрифікована постійним струмом 3 кВ, двоколійна, колія безстикова з рейками типу Р-65 на залізобетонних шпалах з роздільним клемно-болтовим скріпленням типу КБ. Верхня будова колії у задовільному стані, баласт сухий. Конструкції платформи: опори із блоків стін підвалів із бетону М200, покриття – багатопустотні залізобетонні плити.

Після 12 років експлуатації в конструкціях платформ відмічались пошкодження: руйнування асфальтобетонного покриття над швами між плитами; пошкодження захисного шару бетону плит; вертикальні тріщини та суттєві руйнування бетону на торцях опор (рис. 1.9, в, 1.10). Стан окремих ділянок платформ над найбільш пошкодженими опорами (рис. 1.9, в) було розцінено як аварійний. Частина опор на момент обстеження були підсилені оштукатуреною цегляною кладкою (рис. 1.10, б), дерев'яними стояками.

Були проведені вимірювання потенціалів на конструкціях платформ з пошкодженими опорами (різниці потенціалів між конструкцією і заземлюючим електродом, встановленим у віддаленій на 50 м точці землі, рис. 1.12). Встановлено, що на ділянках, де при проходженні поїздів потенціал на рейці досягає +50 В, у вологу погоду величина потенціалу в верхній частині опор досягає +2 В. При цьому потенціал на зворотному, далекій від шляху межі опори, як правило, на 10-30% менше потенціалу на ближній межі. Це підтверджує електрокорозійний механізм пошкодження бетону опор, що полягає в його електроміграційному вилугованні.

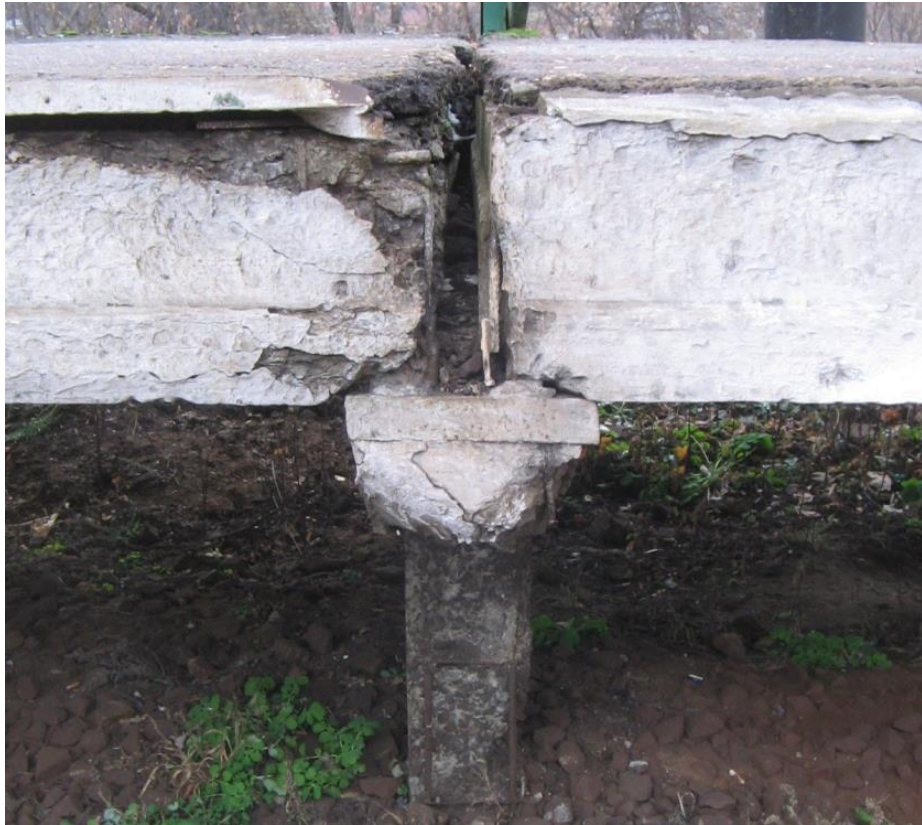
a)*б)*

Рис. 1.5 Пошкодження конструкцій пасажирських платформ (з. п. Карачівка дільниці Харків – Мерефа Південної залізниці): *a* – пошкодження (втрата суцільності) асфальтобетонного покриття; *б* – вилуговування на ребрі плити платформи

a)*б)*

Рис. 1.6 Пошкодження конструкцій пасажирських платформ – відшарування та відколи захисного шару ребер плит покриття з оголенням арматури: *a* – з незначною корозією арматури (з. п. Високий Південної залізниці); *б* – з помітною корозією арматури (з. п. Покотилівка Південної залізниці)

а)



б)



Рис. 1.7 Відшарування та відколи захисного шару ребер плит покриття пасажирських платформ зі значною корозією робочої арматури: *а* – з помітним зменшенням її перерізу, руйнуванням розподільчої арматури або втратою зв'язку робочої арматури з бетоном (з. п. Жовтневий Південної залізниці); *б* – з втратою зв'язку робочої арматури з бетоном та руйнуванням бетону стиснутої зони з помітним прогином плити (з. п. Покотилівка Південної залізниці)

а)



б)



Рис. 1.8 Тріщини у залізобетонних конструкціях пасажирських платформ: а – у ригелях (з. п. Високий Південної залізниці); б – у стояках (з. п. Жовтневий Південної залізниці)

a)*б)**в)*

Рис. 1.9 Пошкодження опор пасажирських платформ із блоків бетонних: *a* – вилугування (з. п. Високий); *б* – руйнування бетону в зоні обпирання плит (з.п. Коротич); *в* – значне руйнування бетону в зоні обпирання плит з їх «зависанням» (з. п. Водяне)

a)*б)*

Рис. 1.10 Пошкодження високих пасажирських платформ з опорами із бетонних блоків у вигляді порушення проектного положення елементів внаслідок руйнування бетону опор (з. п. Зелений Гай Південної залізниці): *a* – осідання сходових маршів; *б* – перекіс платформи

а)



б)



Рис. 1.11 Пошкодження раніше відремонтованих опор пасажирських платформ із блоків бетонних (з. п. Водяне): *а* – тріщини у штукатурногму покритті та його відшарування з боку колії; *б* – тріщини між опорою та підсиленням із оштукатуреної цегляної кладки

а)



б)



Рис. 1.12 Вимірювання електричних потенціалів на поверхні пошкоджених конструкцій високих пасажирських платформ: а – на плитах і верхній частині опор; б – у нижній частині опор

Встановлено, що інтенсивному електрокорозійному пошкодженню піддаються не тільки конструкції з нещільного бетону низької міцності, зокрема бетонні опори, але й міцного щільного бетону, зокрема бетону залізобетонних багатопустотних плит, що формують із жорсткої бетонної суміші з малим водоцементним відношенням за допомогою інтенсивного віброущільнення на заводських віброплощадках.

В результаті досліджень також підтверджено, що пошкодження пасажирських платформ інтенсивно розвиваються не тільки на ділянках, електрифікованих постійним струмом, але й на ділянках, електрифікованих змінним струмом. Виявленою різницею у дії постійного й змінного струмів є те, що при змінному струмі протікає електрокорозія арматури під бетоном з дифузійним розтіканням продуктів корозії у бетоні вбік від арматури, а також рівномірне видалення захисного шару бетону аж до арматури, подібне розчиненню.

Таким чином, в результаті натурних обстежень, що включають електричні вимірювання, встановлено:

- на електрифікованих постійним струмом ділянках, де при проходженні поїздів потенціал на рейці досягає +50 В, у вологу погоду величина потенціалу в верхній частині опор високих пасажирських платформ досягає +2 В, при цьому потенціал в зворотному, далекої від межі колії опори, як правило, на 10-30% менше потенціалу на ближній межі, що підтверджує електрокорозійний механізм їх пошкодження, що полягає в електроміграційному вилугуванні бетону;
- найбільш характерними, швидко розвиваючимися електрокорозійними ушкодженнями платформ є вертикальні тріщини та суттєві руйнування бетону на торцях опор.

1.2.4 Схеми протікання струмів витоку через конструкції високих пасажирських платформ

Як наведено в п. 1.2.3, основною причиною пошкоджень високих пасажирських платформ є електрокорозія бетону постійним струмом витоку з рейкової колії при проходженні електрорухомого складу. За результатами електричних вимірювань розроблена схема протікання струмів витоку через конструкції опор (рис. 1.12), які при пульсуючому режимі, відповідному руху поїздів, обумовлюють спостережувані електрокорозійні пошкодження (рис. 1.5-1.22). Струми протікають по найкоротших шляхах з найменшим опором - від подошви рейок через водонасичені під час дощу і сніготанення забруднені баласт і ґрунт основного майданчика земляного полотна та потім через найближчу до рейкового шляху торцеву грань опори. З п.1.2.3 видно, що слабкими місцями конструкцій платформ є торці бетонних блоків опор і залізобетонні опори-стійки.

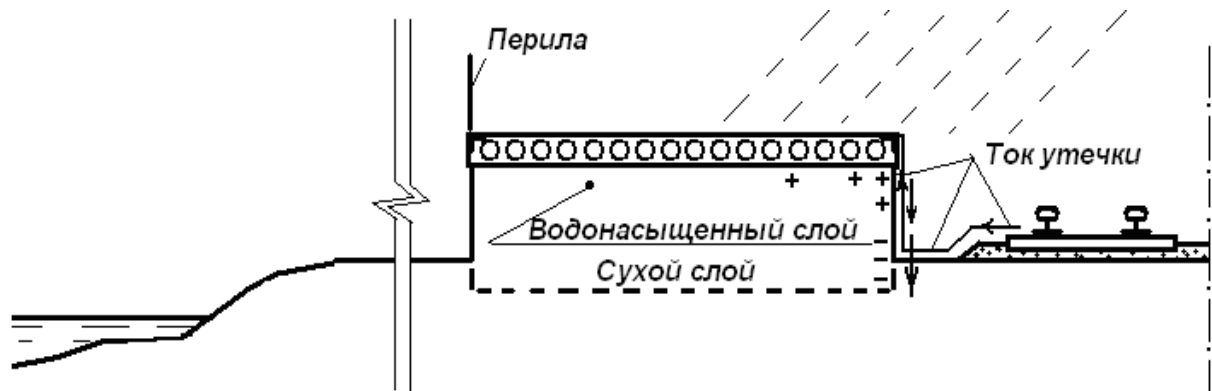


Рис. 1.13 Схема протікання струму витоку через конструкції платформи в вертикальному напрямку від перезволоження верхньої частини, на яку наводиться позитивний потенціал від рейки, до сухої подошви фундаменту (негативному заряду землі)

Однак схема рис. 1.12 не враховує систем заземлення, які влаштовуються на платформах для безпеки пасажирів, крім того, не враховує специфіки платформ на залізобетонних стійках і ригелях.

1.2.5 Механізм електрокорозії бетону

Ще у [105] встановлено, що протягом тривалого часу постійний струм силою до 8 А не впливає на міцність бетону. З цих досліджень був зроблений висновок, що постійний електричний струм ніяким чином не впливає на міцність неармованого бетону.

У [106-111] були виявлені ознаки, характерні особливості, стадії розвитку електрокорозійних процесів, виділені ступені інтенсивності і описані деякі деструктивні процеси в тілі бетону.

Пізніше в [79, 112] були описані процеси масопереносу під дією постійного електричного струму, встановлені залежності протікання цих процесів від щільності і пористості бетону, встановлено, що поширення блукаючих струмів залежить і від електропровідності ґрунтів, яка, в свою чергу, залежить від їх вологості, складу і концентрації розчинних речовин, концентрації водневих іонів і інших чинників.

Але в подальшому було доведено [98], що протягом тривалого впливу постійний струм в умовах обводнення здатний руйнувати бетон конструкцій трубопроводів, мостових опор, будівель та інших інженерно-технічних споруд. Основними ознаками руйнування конструкцій з бетону та залізобетону електрифікованого залізничного транспорту є винос складових цементу, який призводить до утворення тріщин і навіть наскрізних отворів в стінах конструкцій. Такий характер руйнування не може бути обумовлений механічними навантаженнями або морозним руйнуванням і свідчить про електрокорозію.

В умовах обводнення під дією постійного електричного струму конструкцій загрожує процес електрокорозійного вилуговування бетону у вигляді винесення катіонів кальцію Ca^{2+} , що значно знижує показники міцності їх матеріалів. У свою чергу, аніони OH^- виносяться у вологе середовище ґрунту. При наявності дифузійного потоку в ґрунті процес може протікати постійно, приносячи значну шкоду конструкції. Швидкість електрокорозії безпосередньо залежить від коефіцієнта дифузії іонів в ґрунті. Відомо, що на швидкість

поток розтікання іонів в ґрунті впливає також його вологість, швидкість течії ґрунтових вод, а тому натиск ґрунтових вод. При наявності водойми недалеко від платформ, процеси розтікання іонів значно прискорюються і винесення іонів з бетону відбувається набагато швидше.

Як зворотний провід для залізничного транспорту використовуються рейкові шляхи. Такий пристрій створює передумови для стікання струмів в землю. Дуже складним є забезпечення ізоляції рейкового шляху, яка б виключала попадання струму в землю. На електрифікованих залізницях постійним струмом найбільшим впливом в результаті електричної корозії піддаються фундаменти і опори контактної мережі, залізобетонні підрейкові підстави, мостові конструкції. Результат впливу блукаючих струмів на залізобетон - корозія металевої арматури і бетону, що викликає утворення тріщин і надалі руйнування всієї конструкції.

При проходженні електрифікованого транспорту через шляхопроводи, естакади, мости – струм від рейок в умовах обводнення стікає через матеріали конструкцій споруд в ґрунт або водойму. У разі, коли під електрифікованим шляхом і високим насипом розташована водопропускна бетонна труба, у вологих умовах струм витоку з рейок проходить через конструкції верхньої будови колії (скріплення, залізобетонні шпали, баласт), а потім через тіло насипу, бетонні конструкції труби, а через них проходить в водотік всередині труби і в землю.

Багаторічні спостереження за станом конструкцій із залізобетону показують, що вплив струмів витоку і блукаючих струмів на них призводить до процесів корозії арматури і бетону, які протікають по закритій схемі і зумовлюють утворення тріщин [97, 99]. До появи зовнішніх ознак руйнування в матеріалі конструкцій протікають невидимі руйнівні процеси. Електрокорозію залізобетону, навіть за умови інтенсивної корозії арматури, може не викликати розкриття тріщин, якщо буде забезпечено відведення продуктів розчинення металу і їх гідратів. У той же час в бетоні в результаті масообмінних процесів і концентраційних змін може протікати деструкція, яка веде до змі-

ни властивостей: міцності, проникності, морозостійкості, в той час як корозія арматури незначна. Складність встановлення наявності цих процесів в експлуатованих конструкціях сильно ускладнює їх роль і ступінь зниження технічних властивостей матеріалів конструкцій, в результаті чого залишається проблема загальної оцінки стану споруди. При цьому потрібно намагатися враховувати ці явища і процеси, тому що вони задовго до появи видимих ознак здатні погіршувати характеристики конструкції.

Таким чином, конструкції будівель та споруд з бетону, залізобетону, каменю і цегли схильні до процесів електрокорозії від струмів витоку, величина яких залежить від опору елементів ланцюга його протікання, погодних умов, інтенсивності руху електропоїздів та інших факторів. Процеси електрокорозії арматури і самого бетону описані в [102], де детально розглянуто механізм руйнування і фактори, які є найбільш небезпечними для конструкцій.

1.3 Захист конструкцій будівель та споруд від руйнівного впливу постійного електричного струму

1.3.1 Способи захисту від електрокорозії

У зв'язку з викладеним можна стверджувати, що проблема захисту конструкцій будівель та споруд, які знаходяться в зоні дії постійних струмів витоку залізничного і міського транспорту в умовах обводнення, вельми актуальна в наш час. Уже на етапі проектування і будівництва слід враховувати розташування в зоні декількох кілометрів водойм і водотоків та при їх небезпечній близькості рекомендується застосовувати заходи щодо захисту конструкцій від електрокорозії як постійним, так і змінним струмом.

З [113] відома небезпечна величина струму, яка діє на конструкції з бетону та залізобетону, які експлуатуються в обводнених умовах при наявності блукаючих струмів і струмів витоку на електрифікованих ділянках залізниць. Відомо також, що на ділянках експлуатації таких конструкцій проводиться

лише перевірка арматури постів секціонування, підземних частин залізобетонних фундаментів, опор контактної мережі, шляхопроводів, пасажирських платформ, шпал і т. п.. Перевірка ж бетону, матеріалу конструкцій не проводиться. Але, оскільки бетон схильний до руйнівної дії постійного струму, він потребує вимірювання і нормування величин потенціалів на ньому та вимірювання струмів на арматурі і самому бетоні.

Полідисперсна структура бетону є його основною особливістю, яка визначається складом бетонної суміші і умовами твердіння. Навіть при незначній зміні дозування вихідних компонентів суміші або введенні добавок, фізичні і електричні властивості бетону можуть сильно змінюватися. Введення в бетон різних добавок дозволяє знизити його електропровідність в умовах природної вологості. Їх можна розділити на три групи. До першої групи належать полімерні добавки, які здатні збільшувати щільність бетонів. При введенні добавок даної групи ізолюючі властивості бетону можуть зростати на кілька порядків [114]. До другої групи належать гидрофобізуючі добавки, які знижують водопоглинання бетону до 1-2%, тим самим дають можливість збільшити питомий опір на кілька порядків. Недоліком гидрофобізуючих добавок є зниження міцності бетону при їх введенні. До третьої групи відносяться іонообмінні смоли, що знижують рухливість іонів кальцію в електроліті, які заповнюють пори капілярів цементного каменю, тим самим підвищуючи електропровідність бетону [115]. Недоліком використання смол даного виду є їх дуже короткий час дії, яке становить до 30 діб після зволоження матеріалу, а також вартість смол і зниження міцності після їх введення.

В УкрДУЗТ розроблені конструктивно-технологічні рішення ремонту штучних споруд електрифікованих залізниць (водопропускних труб, мостових опор, стійок пасажирських платформ) за допомогою заземлених металон'єкційних сорочок, обойм [3]. Це рішення полягає в пристрої на ослабленою ушкодженнями конструкції закріпленої анкерами металевої оболонки, в зазор між якою і поверхнею конструкції нагнітають суперпластифіцировану цементно-водну суспензію. На ділянках, електрифікованих постійним струмом, з

позитивним потенціалом на рейці, оболонку заземляють через вентиль (діод). Таке поляризоване заземлення при подальшій експлуатації надійно захищає саму оболонку, арматуру, бетон та / або розчин кладки конструкції від струмів витоку і електрокорозії. Однак таке рішення досить дороге і доцільно для застосування при необхідності відновлення втраченої несучої здатності конструкції, що має значні пошкодження (корозія арматури, вивали і т.п.).

Питаннями розробки методів захисту від електрокорозії займалися М.Г. Булгакова, Е.А. Гузеєв, Ф.М. Іванов, Г.П. Вербецький, В.І. Новгородський та інші фахівці.

В сучасних нормах [116] наведені способи захисту залізобетонних конструкцій від корозії блукаючими струмами, які поділяються на три групи. До першої групи належить обмеження струмів витоку, яке виконується на джерелах виникнення блукаючих струмів. Також до цієї групи належить комплекс заходів щодо підвищення величини перехідного опору «рейка - земля». Проведення заходів даної групи є обов'язковим у всіх випадках.

До другої групи відноситься пасивний захист, застосований для залізобетонних конструкцій. Він полягає в нанесенні на конструкції різних захисних покриттів [73, 117] і створенні бетону з високими електроізоляційними властивостями. До параметрів пасивного захисту конструкцій застосовуються особливі вимоги по марці водонепроникності, обмеження застосування добавок в бетон, які впливають на його електричні властивості і на корозійні процеси арматурної сталі, обмеження по товщині захисного шару конструкцій, ширини розкриття тріщин [116] тощо.

Особливо важливими факторами є послідовність і комплексність проведення заходів пасивного захисту залізобетону. Ці фактори головним чином позначаються на його ефективності.

У разі неможливості застосування або недостатньої ефективності пасивного захисту використовується третя група - активний (електрохімічний) захист. Вона полягає в застосуванні електрохімічних способів, заснованих на підтримці пасивного стану арматури в бетоні шляхом подачі на неї постійно-

го потенціалу. Відсутність методів оцінки корозійної небезпеки на стадії дослідження і проектування споруд, стало передумовою для створення ситуації, коли захист залізобетонних конструкцій будівель і споруд залізничного транспорту від впливу блукаючих струмів здійснювався на стадії експлуатації, при якій найбільш ефективними виявилися заходи щодо активного (електрохімічного) захисту. До основних способів даної групи відносяться: катодний захист, протекторний захист, електродренажний захист [57, 59, 116] та ін.

Сучасні норми [116] вимагають під час проектування залізобетонних конструкцій будівель і споруд на ділянках шляху, електрифікованих постійним струмом, застосовувати для захисту від електрокорозії способи першої і другої груп. У них також наголошується на тому, що заходи пасивного та активного захисту можуть бути використані окремо або в комплексі, але у всіх випадках повинні забезпечити достатню захищеність залізобетонних конструкцій. Залізобетонні конструкції споруд рейкового електрифікованого транспорту можуть вважатися захищеними від електрокорозії в тих випадках, коли електроізоляційні деталі та приладдя забезпечують електричний опір не менше 10 кОм в ланцюзі заземлення опор контактної мережі і деталей кріплення контактної мережі до елементів конструкцій будівель і споруд. Забороняється використання залізобетонних фундаментів, які піддаються середньому або сильному ступеню впливу електричного струму в якості заземлювача електрообладнання, яке працює на постійному електричному струмі.

1.3.2 Електродренаж

У випадках, коли заходи щодо захисту конструкцій будівель та споруд залізничного транспорту традиційними шляхами не можуть в повній мірі забезпечити захист від блукаючих струмів та струмів витoku, приймається рішення захистити їх комплексними підходами за допомогою активного захисту. В першу чергу його доцільно застосовувати для підземних споруд, що знаходяться в полі блукаючих струмів, на додаток до ізолюючих покриттів в наслідок їх недовговічності або коли їх якості недостатньо. Такий комплекс-

ний захист, як вважають багато фахівців, є найбільш ефективним [77]. Своїм пристроєм активний захист має на увазі відведення блукаючих струмів з споруди в рейки або нейтралізація дії цих струмів зустрічним струмом [77]. Активний захист включає в себе кілька способів: пристрій електричного дренажу, катодного захисту і протекторного захисту.

Найбільш простим способом активного захисту від блукаючих струмів є пристрій електричного дренажу. Він забезпечує відведення блукаючих струмів з конструкції до їх джерела, при цьому витік струму з поверхні споруди в землю припиняється. Електричний захист металевих підземних споруд на залізницях (кабельних ліній, трубо-проводів, фундаментів опор контактної мережі тощо.) від корозії, що спричиняється блукаючими струмами заснована на зміні розподілу потенціалів на рейках і об'єкті. Електричний дренаж здійснюється прямим металевим з'єднанням споруди за допомогою провідника з рейками у зворотного фідера або з негативною шиною тягової підстанції. Цей провідник практично шунтує паралельний шлях струму з споруди до зворотного фідера через землю, в результаті чого струми з споруди повертаються в зворотний фідер не через землю, а по електричному дренажу. Повернення блукаючих струмів по електродренажу виключає електрокорозійне руйнування споруди в колишньої анодній зоні. При такому дренажному захисту струми з навколишньої землі споруди, що володіє більш високим, ніж споруда, потенціалом, затікають на нього. Цей ефект називається катодною поляризацією, забезпечує захист і від ґрунтової корозії. Електричне дренажне заземлення застосовується тільки на залізницях, електрифікованих постійним струмом. Розрізняють такі види електричних дренажів: прямий, поляризований, реверсивний і посилений [72].

Прямий електродренаж володіє двосторонньою провідністю, в його ланцюзі є регульовальний резистор та елемент захисту від перевантажень. Недоліком даного типу електродренажа є неможливість його встановлення в знакозмінній зоні, тобто якщо в зоні електричної перемички різниця потенціалів рейок - спорудження стає позитивною.

Поляризований електродренаж застосовується на ділянках, де здійснюється рекуперативне гальмування електричних рухомих складів, а також при істотній різниці напруги працюють паралельно на тягову мережу підстанцій, тобто у випадках, коли анодна зона значно зміщується навіть при позитивній полярності контактної мережі. У ланцюг додатково вводиться поляризований елемент - вентиль, що дозволяє проводити струм лише в напрямку від споруди до рейок, тобто електродренаж працює тільки у випадках, коли він знаходиться в анодній зоні.

Реверсивний електродренаж змінює полярність дренажного ланцюга в залежності від необхідного діапазону захисного потенціалу на спорудженні. Недоліком даного типу електродренажа є можливість натікання струму з електрода заземлення на конструкцію після проходження електропоїзда по ділянці шляху.

Посилений електродренаж, як правило - поляризований електричний дренаж, доповнений джерелом постійного струму, представляє різновид дренажно- катодного захисту. Він застосовується при наявності потужної мережі споруд і розвиненою рейковою мережі електрифікованого рейкового транспорту, коли поляризований електродренаж не може забезпечити надійного захисту споруди. У ланцюг посиленого електродренажа вводиться однофазний випрямляч, зібраний за мостовою схемою і отримує живлення від незалежного джерела живлення змінного струму. При введенні в контур електродренажа, електродіюча сила від випрямляча знижує потенціал споруди і підвищує його корозійну захищеність. Дренажний струм можна регулювати вручну і автоматично. Електродренажний пристрій підключають при двониткових рейкових ланцюгах автоблокування до середніх висновків колійних або додаткових, дросель-трансформаторів, при одностикових (або безрейкових ланцюгах) - до тягової рейки. Недоліком такого типу електродренажа є його висока вартість, у зв'язку з чим він не отримав широкого поширення для захисту споруд залізничного транспорту.

Пристрій електричного дренажу ефективний в тому випадку, коли підземна споруда знаходиться поблизу електрифікованої залізниці і різниця потенціалів «споруда - рейка» позитивна, а падіння напруги в дренажному кабелі менше вищевказаної різниці потенціалів [76].

1.3.3 Катодний захист

Катодний захист був вперше описаний сером Гемфрі Деві в серії доповідей, представлених Лондонському королівському товариству з розвитку знань про природу в 1824 році [118]. Після тривалих тестів вперше катодний захист застосували в 1824 р. на судні HMS Samarang [119]. Анодні протектори з заліза були встановлені на мідну обшивку корпусу судна нижче ватерлінії, що значно знизило швидкість кородування міді. Мідь, що кородує, вивільняє іони міді, які мають антиобростаючий ефект. У зв'язку з надмірним обростанням корпусу і зниженням ефективності корабля Королівський військово-морський флот Вели-кобританії прийняв рішення відмовитися від протекторного захисту, щоб отримати переваги від антифоулінгового ефекту внаслідок кородування міді.

Катодний захист - це електрохімічний захист від корозії, заснований на накладенні негативного потенціалу на деталь, яку захищають [120-122]. Катодний захист, як правило, поєднують з нанесенням захисних покриттів. Зрушення потенціалу металевого об'єкта що захищають здійснюється за допомогою зовнішнього джерела постійного струму (станції катодного захисту) або ж з'єднанням з протекторним анодом, виготовленим з металу, більш електронегативного щодо об'єкту. При цьому поверхня захищеного зразка (деталі конструкції) стає еквіпотенційною і на всіх її ділянках протікає тільки катодний процес. Обумовлює корозію анодний процес перенесений на допоміжні електроди. Звідси назви - жертвний анод, жертвний електрод. Якщо, все ж таки, зрушення потенціалу в негативну сторону перевищить певне значення, можливий так званий перезахист, пов'язаний з виділенням водню, зміною складу приелектродному шару та іншими явищами, що може привести

до деградації захисного (ізоляційного) покриття і протіканню процесу стрес-корозії катодного захисту .

Катодний захист широко застосовується для захисту від корозії зовнішньої поверхні: великих металомістких об'єктів енергетичного комплексу, таких як підземні і наземні магістральні і промислові трубо-проводи нафти, газу і нафтопродуктів, теплові мережі, великі резервуари і т. д. У разі неможливості або недоцільності застосування катодного захисту для захисту від корозії невеликих об'єктів може застосовуватися протекторний захист металевих паливних фундаментів в ґрунті, морських причалів, підстав нафтогазових платформ, опор мостів або будь-яких інших металевих конструкцій в морській воді, причому для різних зон контакту споруди з морською водою (зона змінного змочування, зона повного занурення і зона занурення в морський ґрунт) необхідно застосовувати різні технічні рішення по катодному захисту [123] кораблів від корозії у морській воді (переважно протекторний захист) сталевих арматур в залізобетоні для паливних фундаментів, дорожніх споруд (в тому числі горизонтальних покриттів) та будівель.

Не дуже відомим, але дуже ефективним способом електрохімічного захисту від корозії є катодний захист внутрішньої поверхні трубопроводів і резервуарів (судин) будь-якої ємності і призначення, що мають контакт з агресивним водним електролітом (промисловими стічними водами або просто водою з високим вмістом мінеральних солей та кисню). У цьому випадку застосування катодного захисту дозволяє продовжити термін безремонтної експлуатації об'єкта в кілька разів [124].

Основним шкідливим наслідком роботи систем катодного захисту підземних споруд (переважно трубопроводів), що виникають внаслідок помилок при проектуванні і будівництві подібних систем, може бути прискорена електрокорозія (корозія блукаючими струмами) сусідніх з металевим об'єктом що захищають [125].

Перевагою катодного захисту в порівнянні з дренажною, є можливість застосування в будь-якому місці між тяговими підстанціями та реалізація за-

хисних струмів незалежно від зміни блукаючих струмів в землі [77]. Недоліком катодного захисту є висока вартість її пристрою.

З усього розглянутого вище видно, що активні типи захисту для споруд залізничного транспорту, що піддаються впливу струмів витоку і блукаючих струмів актуальні і можуть бути застосовані в обґрунтованих ситуаціях, але їх пристрої являють собою складність в конструктивному і експлуатаційному планах, дорожнечу, тому, при наявності альтернативних рішень, фахівці рекомендують їх уникати.

1.3.4 Діодне заземлення

У тих випадках, коли пасивний захист конструкцій будівель і споруд залізничного транспорту є недостатньо ефективним, слід поєднувати його з активним. Але, як показує попередній критичний аналіз, заходи по влаштуванню активного захисту в наш час є дуже коштовними і до їх вибору рекомендується відноситися економічно обґрунтовано.

На думку фахівців УкрДУЗТ, одним з прийнятних методів активного захисту вважаються діодні заземлення конструкцій будівель і споруд від дії блукаючих струмів і струмів витоку. Сутність його пояснюється класичними уявленнями електрохімії про процеси, що відбуваються в металевих і залізобетонних спорудах при проходженні через них електричного струму [86]. Цей процес був названий електролізом.

Електроліз - це складний електрохімічний процес, в якому при виникненні зовнішньої е. д. с. на електродах, що знаходяться в електроліті, відбувається порушення балансу окисно-відновної реакції. На поверхні анодної зони споруди швидкість окислення стає більше швидкості відновлення, а на поверхні катодної зони споруди переважає процес відновлення. При більш позитивному значенні потенціалу, ніж рівноважний, на аноді з'являється можливість переходу катіонів в розчин (тобто можливість окислення) і анод розчиняється.

Принцип всіх способів активного захисту споруд, з точки зору електро-

хімічних процесів, полягають у видаленні анодної зони від споруди. Принцип катодного і протекторного захисту споруди зводиться до наведення на нього негативного потенціалу, тобто спорудження стає більш електронегативне, ніж «жертвний електрод». Принцип електродренажного захисту полягає у вільному переміщенні електронів від рейок до споруди, що стає «макрокатодом».

Захист конструкцій від електрокорозії за допомогою діодного заземлення передбачена проектом інструктивного документа, розробленого УкрДУЗТ для Департаменту колії та споруд ПАТ «Укрзалізниця» [126].

1.4 Передумови створення електропровідних композицій на основі портландцементу для захисту від електрокорозії

В УкрДУЗТ розроблено та впроваджено конструктивно-технологічне рішення відновлення несучої здатності пошкоджених інженерних споруд, у т.ч. високих пасажирських платформ, за допомогою металоін'єкційних сорочок та обойм. Такі обойми у разі їх заземлення здатні виконувати функції екранів, що відводять струми витоку від інших конструкцій споруди (або істотно зменшують їх).

Проте металоін'єкційні сорочки та обойми, отже, екрани, є достатньо коштовними і їх доцільно застосовувати за необхідності відновлення несучої здатності конструкцій. У разі потреби лише у їх захисті або дрібному ремонті невеликих поверхневих пошкоджень заземлені екрани доцільно виконувати із електропровідних силікатних композицій, які значно дешевші металоін'єкційних аналогів. Екрани забезпечать відведення струмів витоку від споруди або істотне зниження їх величин.

Тому, в процесі пошуку найбільш прийняттого для ремонтно-відновлювальних робіт на залізницях захисного екрану, виникла необхідність аналізу видів і властивостей застосовуваних складів, сучасних уявлень про закономірності структуроутворення силікатних і проникаючих композицій в контактному шарі з цементом, а також бетоном старій поверхні конструкцій і

ін.

1.4.1 Використання бетону як електропровідного матеріалу

В даний час бетонні та залізобетонні конструкції знаходять все більш широке застосування в різних сферах техніки. Нові області застосування бетону зажадали і нових знань про його властивості. Поряд з вивченням фізико-механічних властивостей зараз стали приділяти велику увагу електротехнічним властивостям бетону і, як наслідок цього, були розпочаті роботи зі створення бетонів з наперед заданими електричними характеристиками.

Для захисту конструкцій будівель та споруд залізничного транспорту можна застосовувати електротехнічний бетон (бетел) [127-129] - історично один з перших електропровідних композиційних матеріалів, який запропонований в середині шістдесятих новосибірськими вченими. Ця розробка на початку вісімдесятих була нагороджена державною премією. Бетел складається з чотирьох компонентів: цемент, сажа, вода, заповнювач. Головна перевага - дешевизна вихідних компонентів і простота технології приготування. Суміш на зразок звичайного бетону, в якому замість піску використана сажа. Було отримано матеріал з коефіцієнтом електроопору $0,01-10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Це означає, що, наприклад, резистор номіналом 100 Ом можна виготовити з бетонного паралелепіпеда розміром $10\times 10\times 100 \text{ см}$. У цьому випадку виникла проблема з введенням струму в такий опір. Рішенням виявився пристрій аквадагу. Але до аквадагу, в свою чергу важко приєднувати контакти. Тому використовують або притискні контакти до аквадагу, або впроваджені в тіло композиту різноманітні дротяні елементи.

У багатьох країнах ведуться роботи зі створення спеціальних бетонів з заданими електричними властивостями, а також з дослідження і використання електричних властивостей звичайних будівельних бетонів. Інтерес до цієї роботи обумовлений великими перспективами, які відкриваються перед будівництвом, електроенергетикою та іншими галузями техніки в тому випадку, якщо будуть знайдені надійні шляхи перетворення бетону в електропровід-

ний матеріал.

Вивчення електричних властивостей бетонів і створення нових типів електропровідних бетонів йде в двох напрямках:

1. Створення електропровідних бетонів з малим питомим електричним опором і стабільністю електричних параметрів в часі при змінних умовах експлуатації.

2. Вивчення електричних властивостей існуючих бетонів і створення бетонів з поліпшеними електроізоляційними властивостями: високим питомим електричним опором, малим значенням діелектричних втрат і діелектричної проникності, високою електричною міцністю.

Поділ матеріалів на конструктивні і електротехнічні існує у всіх галузях техніки. Це пояснюється тим, що відомі електротехнічні матеріали по техніко-економічним показникам, а іноді через специфічні фізико-механічні властивості, не можуть бути використані як конструктивні [130]. Спроби використовувати електроізоляційні або електропровідні властивості звичайного бетону робилися і раніше, проте всі вони, як правило, невдалі, так як бетон не володів стабільними електричними властивостями, а регулювати їх в заданих межах не представлялося можливим. Тому створення на основі звичайного бетону матеріалу, що володіє високими конструктивними і необхідними, заздалегідь заданими електричними властивостями, є дуже актуальним завданням.

Звичайний бетон в певних температурно-вологісних умовах має здатність проводити електричний струм, проте ця його властивість є нестабільною. Крім того, в більшості випадків електропровідність звичайного бетону розглядається як шкідлива, так як з нею пов'язана електрокорозія арматури в залізобетонних конструкціях під впливом блукаючих струмів.

У ряді випадків цю здатність намагаються використовувати для цілей заземлення деяких будівельних конструкцій, які працюють під впливом електричного струму. Останнє можливе лише в тому випадку, якщо бетон буде стабільним провідником струму. Однак, при сезонних коливаннях темпера-

тури і вологості, електричний опір звичайного бетону змінюється на 6-8 порядків. Пояснюється це тим, що він володіє іонним характером провідності. При насиченні бетону водою відбувається перехід легкорозчинних компонентів цементного каменю в рідку фазу, і він стає напівпровідником з низьким питомим електричним опором. Висушування ж бетону призводить до зростання його опору.

Пропонувалися різні способи поліпшення електричних властивостей бетону [131]. Більшість з них ґрунтувалося на тому, щоб перешкодити проникненню вологи всередину бетону або зменшити її вплив. Розроблений у Франції так званий «ізоляційний бетон Ламберта» приготувався на водних бітумних емульсіях. Заповнюючи пори, що утворюються в тілі бетону, бітум утруднював його зволоження, стабілізуючи тим самим електричний опір. Бетон, попередньо висушений, а потім покритий або просочений з поверхні різними ізоляційними складами, застосовується в багатьох країнах для виготовлення токострімуючих бетонних реакторів. З метою збільшення електричного опору бетону, призначеного для виготовлення залізобетонних шпал, в його склад вводилися іонно-обмінні смоли, які пов'язували утворення при зволоженні бетону вільних іонів. Зменшення концентрації іонів в рідкій фазі приводило до зниження електропровідності як самої рідкої фази, так і бетону в цілому. Висловлювалися пропозиції про отримання ізоляційних бетонів на основі повної заміни цементної зв'язки на полімерну. У зарубіжній практиці найбільшого поширення набув спосіб користування полімерних зв'язок для отримання електроізоляційних пластобетонів, зокрема епоксидного бетону.

Спроби використовувати провідні властивості бетону у вологому стані мали обмежений успіх. Пояснюється це тим, що вологий бетон, з одного боку, не витримував імпульсів струму, з іншого - при низьких температурах, коли вода, що знаходиться в бетоні, замерзала, він ставав поганим провідником. Характерна особливість більшості згаданих вище робіт полягала в тому, що бетон розглядався, з електричної точки зору, як щось єдине без достатнього врахування його хімічного і фазового складу, мікро- і макроструктури,

особливостей фізико-хімічних процесів, що призводять до утворення його як матеріалу [132].

На думку фахівців УкрДУЗТ за основу проведених досліджень покладено інший принцип отримання як струмопровідних, так і ізоляційних бетонів. Для ізоляційних бетонів це, по-перше, комплексне вивчення властивостей окремих компонентів цементного в'язучого і різних їх поєднань, що дозволило виділити ті з них, які б найбільшою мірою наближалися до діелектриків і, по-друге, встановлення ролі пористості бетону і визначення кордону, небезпечного в електричному відношенні. Для електропровідних бетонів це, по-перше, відшукування струмопровідної добавки, що змінює властивості бетону в сторону підвищення його електропровідності і, по-друге, отримання на її основі композиційного матеріалу - спеціального бетону з усіма характерними якостями провідника електричного струму.

В результаті цих робіт було створено електропровідний бетон, названий Бетелем, що володіє, поряд з конструктивними властивостями, здатністю проводити електричний струм.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень було встановлено, що зміна в потрібному напрямку фазового складу і структури цементного каменю і бетону, а також використання струмопровідних добавок є одним з основних шляхів отримання бетонів із заданими електричними властивостями. Цього слід домагатися не тільки за рахунок вибору вихідного в'язучого, заповнювача і добавок, а й створення оптимального, з точки зору електричних властивостей, режиму твердіння.

В'язуче, що використовується в бетоні, може бути найрізноманітнішим і, в залежності від його виду, розрізняють наступні типи бетону: пластобетон, полімерцементний бетон і бетон на цементному в'язучому. Якщо проаналізувати їх з точки зору електричної, конструктивної і економічної ефективності, то можна сказати, що найбільш підходящим для електричних цілей є бетон на цементному в'язучому, так як він має високі конструктивні і техніко-економічні показники. Тому робота по застосуванню бетону для електротех-

нічних цілей розвивалася в напрямку використання звичайного цементного бетону з урахуванням різних методів, що поліпшують його електричні властивості [129].

Електропровідні бетони відносяться до числа дешевих і доступних матеріалів. Їх вартість лише в деяких випадках буде незначно перевищувати вартість звичайних будівельних бетонів. Це пояснюється тим, що при виготовленні електропровідних бетонів і конструкцій на їх основі використовуються поширені складові в'язучі, добавки, наповнювачі, а також в основному освоєні промисловістю технологічні процеси.

Бетели можуть знайти широке застосування в галузі будівництва технічних будівель на залізницях, панелей стін і перекриття, підлог, покрівлі з внутрішнім водостоком, фундаментів опор контактної мережі. Цей бетон, як всякий провідник при проходженні електричного струму, нагрівається. Це дозволяє широко використовувати його для створення електроопалювальних елементів будівель. В якості нагрівальних елементів може бути виконано без великих змін конструкцій і технологічного оснащення при змінюванні в даний час стінових панелей та плит міжповерхового перекриття. Конструкції з електропровідного бетону дозволяють відмовитися від складних існуючих систем опалення, забезпечать можливість створення індивідуального мікроклімату в житлових приміщеннях, дозволять запропонувати ряд принципово нових рішень окремих вузлів, забезпечать скорочення термінів монтажу будівель, приведуть до зниження цілого ряду експлуатаційних витрат, особливо в умовах суворого клімату.

Найбільш поширеним типом провідної добавки в композиційних провідниках є різні вуглецеві продукти - сажі, графіт і ін. Однак можливість поєднання цементної зв'язки з вуглецевим наповнювачем до останнього часу залишалася сумнівною. Останні роботи показали, що при певних умовах таке поєднання можливе, і отриманий композиційний матеріал, поряд зі стабільною електропровідністю, регульованою в широких межах, має досить високу механічну міцність.

Основна відмінність бетелів від відомих композицій в тому, що використовується не спеціальна сажа, а розмелені продукти високотемпературної обробки вугілля (кокс пековий тощо), а як в'яжуче - цемент.

Проаналізувавши залежність питомого опору вуглецю від температури приготування, він вважає найбільш прийнятним для бетелів вуглецеві добавки з температурою приготування від 1000 до 2000°C, що є найбільш характерним для коксів, використаних при отриманні всіляких електродних мас. Для виготовлення бетелів використовується в основному кокс пековий, що є полікристалічним вуглецем, утворюється при високотемпературній (~ 1300°C) обробці продуктів, одержуваних при коксуванні.

Цементне в'яжуче є цілком відповідним різновидом зв'язки, так як його питомий електричний опір на 6-8 порядків вище, ніж у вуглецю, і коефіцієнт лінійного розширення близький до коефіцієнта лінійного розширення добавки. Вимоги до інтервалу допустимих робочих температур визначаються температуростійкістю цементного каменю +150°C, так як вуглець допускає нагрів до 550°C.

Подальші роботи по вивченню бетелів йшли по шляху дослідження електричних властивостей композиції в цілому. Різниця в коефіцієнтах лінійного розширення вуглецю і цементної зв'язки дало можливість припустити, що при нагріванні питомий опір бетелів буде зменшуватися, що повністю підтвердилося експериментально. Хоча подібні зміни електричних параметрів небажані, проте слід зазначити, що їх абсолютна величина не виходить за межі допустимих значень. Вологість бетелів також впливає на об'ємний електричний опір композиції, проте для практично вживаних об'ємних концентрацій вуглецю це вже не позначається. Зволоження впливатиме на морозостійкість матеріалу і його роботу при теплових ударах, що в цілому визначає довговічність конструкції і стабільність її властивостей.

Для дослідження впливу добавки вуглецю на електричні властивості бетону авторами [132] була виготовлена і випробувана серія зразків. Виготовлення дрібнозернистої бетелової суміші здійснювали вручну, крупнозернис-

тої - в лабораторній бетономішалці. Досліджувався об'ємний електричний опір і межа міцності при стисненні. Електричні випробування зразків проводилися в повітряно-сухому стані на пресі з установкою на підкладку з сталю та гуми для забезпечення контакту по всьому торцю зразка. Замір омічного опору зразка проводиться при зусиллі в 1 г за допомогою моста постійного струму. Питомий об'ємний опір визначалося по кубіковому призмовому омічному опору. Зразки з дрібнозернистого бетела, після виміру провідності шести зразків - кубів і призми - випробовувалися на стиск відповідно до вимог ГОСТ 5802. Зразки з крупнозернистого бетела випробовувалися на міцність відповідно до вимог ГОСТ 10180 як для звичайного важкого бетону.

Результати випробувань показали, що величина питомого об'ємного опору ρ залежить тільки від вмісту вуглецю. Аналіз наведених залежностей дозволяє зробити дуже важливі висновки про те, що при певному змісті вуглецю в суміші (420-450 кг/м³) відбувається якісний стрибок у властивостях бетелів, при якому величина ρ змінюється майже на порядок, а потім мало змінюється. Здається, в цей момент в бетоні створюються безперервні стійкі ланцюжки з вуглецю. Про це ж говорить і невеликий розкид даних випробувань для бетелів із зазначеним вмістом вуглецю.

За наявними експериментальними даними зроблена спроба вивчити питання стабільності електричного опору плит в умовах експлуатації їх під навантаженням, тобто питання старіння (старінням вважається збільшення омічного опору). Для аналізу взято одношарові плити. За час досвіду протягом двох місяців у всіх випадках виявилось, що опір плит не тільки не збільшується, як очікувалося, а зменшується і досить значно, в середньому на 5-7 %. Це говорить про те, що отримання плит-панелей зі стабільними в часі властивостями можливо, і їх опір та нагрівальні характеристики в умовах тривалої експлуатації будуть зберігатися.

Повторні випробування проводилися на зразках-циліндрах діаметром 60 мм з металевими фланцями. Ці випробування проводилися за більш жорсткого режиму (перепад температур) і показали збільшення величини опору про-

тягом 25 циклів до 6-10 %. Однак, повністю віднести це до старіння матеріалу не можна, так як, очевидно, через великі коливання температури значно зростає контактний опір під фланцем.

Проведені дослідження показали, що Бетель має стабільні електричні характеристики і зміна його опору в процесі експлуатації не перевищує 5%. З бетелів можливе виготовлення нагрівальних елементів і конструкцій, які мають високі електронагрівальні здатності. В експлуатаційних режимах роботи (в опалювальних системах будинків) бетелові нагрівальні елементи будуть зберігати стабільність своїх електронагрівальних характеристик і можуть бути рекомендовані для створення експериментальних систем опалення житлових і громадських будівель [129, 132].

1.4.2 Вуглеграфітові наповнювачі

Багатьма авторами, наприклад [53, 70, 71, 133–135], виконувались експериментальні та теоретичні дослідження впливу мікродисперсних частинок на фізико-механічні властивості цементних бетонів і розчинів: міцність, усадку, зносостійкість і т. п. Однак поза увагою автора залишилися вуглеграфітові наповнювачі і їх вплив на електротехнічні властивості матеріалів.

У роботі С.М. Толмачова та О.А. Беліченко детально досліджено вплив вуглеграфітових нанопорошків на структуру і властивості цементних бетонів. [136, 137]. На основі закономірностей колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки обґрунтовано та отримано істотне підвищення міцності. Проте вплив нанодисперсних частинок вуглецю на електротехнічні властивості бетону залишився поза увагою авторів.

В недалекому минулому в промисловості проводилися в основному для електротермічних і електролітичних процесів, а також для дрібних виробів електротехнічного призначення - електровугілля різних типів. В останні роки в електродній і електровугільній промисловості освоєно широкий асортимент нових видів виробів з вугілля та графіту і дуже розширилися області їх застосування, що зажадало чіткої класифікації виробів. Всі види вуглеграфітових

матеріалів можна розділити на наступні сім класів: електродні вироби, вогнетривкі вироби, хімічно стійкі вироби, електровугільні вироби, антифрикційні вироби, графітові блоки і деталі для атомної енергетики, електродні маси.

Електродні вироби - це кінці струмопровідної проводки, які служать для введення струму в робочий простір різних приладів, печей, електролізерів. Всі види електродних матеріалів, які виробляє електродна промисловість, діляться на чотири типи: вугільні, коксові, графітові і графітовані. До вугільних електродів відносять такі, для виготовлення яких, в якості основної сировини, застосовують антрацит. Ці електроди характеризуються високою зольністю, високим електричним опором і низькою теплопровідністю. Коксові електроди виготовляють з малозольних коксів, вони характеризуються низькою зольністю (нижче 1%), високим електричним опором і малою теплопровідністю. Графітові електроди виготовляють на основі природного та штучного графіту. Їх виробляють замість вугільних. Електроди графітові виготовляють з малозольних коксів і піддають графітації, звідки й походить їхня назва. Вони характеризуються низьким вмістом золи, мають високу теплопровідність і електропровідність. Електродна продукція широко застосовується у виробництві якісних сталей, алюмінію, штучних абразивів, кольорових металів і ін. Найбільшими споживачами є сталеплавильна, алюмінієва і хімічна промисловості.

У алюмінієвій промисловості при проведенні процесу електролізу оксиду алюмінію найважливішою деталлю електролізера є токопровідна подина, яка повністю виготовляється з вугільних блоків. З таких же блоків викладаються бічні стінки. У хімічній промисловості графітові аноди, головним чином, застосовуються при електролізі розчину хлористого натрію.

Вогнетривкі вироби - це вуглецеві матеріали, які широко застосовуються в будівництві найрізноманітніших типів печей, де вони з успіхом замінюють різні вогнетривкі матеріали, які застосовувалися раніше. При високих температурах вуглецеві матеріали, в силу їх специфічних властивостей і відносної дешевизни, незамінні при будівництві електричних печей і інших теплових

агрегатів. Найбільша кількість вогнетривких вуглецевих матеріалів застосовується при будівництві доменних печей. Вуглецеві вогнетриви значно збільшують тривалість служби печі, забезпечують безпеку роботи, спрощують конструкцію печі і т. д. Переваги вуглецевих вогнетривів перед шамотними полягають у тому, що вони добре протистоять агресивній дії рідкого чавуну і шлаків. Вугільні блоки мають більш високу теплопровідність, що покращує теплопередачу. Вони краще чинять опір стирання, ніж шамотна цегла.

Вугільні блоки виготовляють із застосуванням антрациту, за своїми характеристиками вони схожі з вугільними електродами. Серед дрібних фасонних вогнетривких виробів слід назвати графітові човники для виробництва твердих сплавів, тиглі для плавки різних сплавів і т. д. До нових видів виробів відносяться тиглі, човники і виливниці для плавки надчистих металів. Ці вироби виготовляють з особливо чистих графітових матеріалів.

Хімічно стійкі вироби. При невисоких температурах вуглеграфітові матеріали дуже стійкі до впливу більшості хімічно агресивних речовин. Вони помітно руйнуються тільки гарячими розчинами сильних окислювачів. Крім високої корозійної стійкості, графіт володіє іншими цінними властивостями: гарною теплопровідністю, малим коефіцієнтом теплового розширення і стійкістю до різких змін температури, а також здатністю не адсорбувати накіп і забруднення інших металевих і неметалевих речовин, які містяться в агресивних середовищах. Ці властивості роблять графіт незамінним матеріалом для виготовлення різних деталей і апаратів хімічної промисловості.

Всі види вуглеграфітових матеріалів досить міцні і добре обробляються ріжучим і шліфуються інструментом, що дозволяє щільно підганяти деталі апаратури і навіть виготовляти точні деталі. Ці властивості роблять графіт хорошим конструктивним матеріалом для виготовлення теплообмінної апаратури. В даний час холодильники і нагрівачі з графіту успішно застосовуються в більшості виробництв з агресивними середовищами. У промисловості широко застосовуються хімічно стійкі вугільні і графітові плитки для футерування різних апаратів.

Широке застосування знайшли вуглеграфітові деталі для хімічної апаратури: форсунки і сопла для впорскування з розпиленням рідин, пробкові крапи, деталі для насосів і трубопроводів, фітинги, кільця Рашига для насадок і т. д. У промисловій практиці знаходять широке застосування пористі вуглеграфітові матеріали. Найбільший інтерес представляють вугільні фільтри.

Електровугільні вироби. Це, в основному, різні дрібні вироби електротехнічного призначення. Сюди відносять: щітки для ковзних контактів електричних машин, освітлювальні вугілля для дугових ламп - прожекторів, вугілля для спектрального аналізу і гальванічних елементів, зварювальні вугілля для зварювання та різання металів, вугільного опору - шайби і диски для регуляторів напруги і вугільних реостатів, вироби для електровакуумної техніки. Щіткою називається зовнішній елемент ковзаючого контакту електричних машин. В даний час їх виготовляють з суміші коксу, сажі, невеликих кількостей графіту і в'язучих речовин. Технологічний процес їх отримання закінчується операцією випалу. Освітлювальні вугілля застосовуються для різних цілей. Найбільшого поширення вони знайшли в прожекторних установках, в дугових лампах мікроскопів, осцилографів, в світлокопіювальних приладах і при проведенні спектральних аналізів. Всі освітлювальні вугілля використовують в дугових джерелах світла. При зближенні вугілля, в результаті короткого замикання, виникає струм великої сили, внаслідок чого на кінцях вугілля виділяється велика кількість тепла, на одному з них - катоді - з'являється розпечене катодна пляма, що є джерелом потоку електронів. Електрони що направляються до анода іонізують нейтральні молекули й атоми. Утворюється електрична дуга, один з видів проходження електричного току в повітряному середовищі.

Антифрикційні вироби. Добре відомо, що графіт має властивість самозмащування, тобто здатністю в парі з металом забезпечувати при терті малий знос і низький коефіцієнт тертя без подачі будь - якого додаткового мастила. Це властивість графіту і використано у виробництві вуглеграфітових антифрикційних матеріалів. Поведінка графіту в процесі тертя визначається влас-

тивостями його кристалів: легкою розщеплюємістю по площинах спайності і здатністю міцно прилипати до поверхонь, що труться. Міцний зв'язок графітової плівки з площинами тертя здійснюється за рахунок ненасичених зв'язків, що виникають при розщепленні кристаликів графіту. Вуглеграфітові матеріали застосовуються в якості вкладишів радіальних і наполегливих підшипників, напрямних втулок, пластин, поршневих кілець, поршневих і радіальних ущільнень в різноманітних машинах, приладах і механізмах. Перевага цих матеріалів полягає в їх здатності працювати без змащення в умовах високих і низьких температур, а також при дуже високих швидкостях, в агресивних середовищах і т. д.

Сировинні матеріали. Для виробництва всіх типів вуглеграфітових матеріалів застосовують штучні і природні матеріали, в яких головною складовою частиною є вуглець. До природних матеріалів ставлять антрацит і натуральні графіти. Основну ж масу вуглецевих матеріалів (переважну за своїм кількісним застосування і фактичним значенням) складають штучно приготовані матеріали.

Різні форми вуглецю виходять розкладанням органічних речовин. Вони можуть утворюватися з газової або рідкої фази, а також розкладанням твердих сполук. З газової фази утворюються, наприклад, деякі сорти сажі, а з рідкої - нафтового коксу. Вихідні матеріали та способи переробки їх мають вирішальний вплив на властивості сировинних матеріалів.

Всі сировинні матеріали, що застосовуються для виробництва вуглеграфітових матеріалів, можна розділити на дві основні групи: тверді вуглецеві матеріали і в'язучі.

Антрацит - основний компонент вугільних електродів і вугільних блоків для кладки і футеровки печей, ванн та ін. Використання антрациту в композиціях покращує експлуатаційні властивості виробів, головним чином, термостійкість. У порівнянні з коксом, антрацит дає можливість отримувати більш міцні і електропровідні вироби. Основні вимоги до якості антрациту - висока електропровідність, механічна міцність, термічна стійкість, низька зо-

льність і сірчистість. При нагріванні антрацит схильний до розтріскування, причому, чим швидше піднімається температура, тим різкіше проявляється розтріскування. При однаковій швидкості нагрівання руйнування антрациту тим більше, чим менше ступінь метаморфізму. Найбільшою термічною стійкістю (тобто найменш руйнуються при тепловому ударі) мають високо-метаморфізовані антрацити з щільністю органічної маси більш 1460 кг / м³.

Крім ступеня метаморфізму на термостійкість антрациту впливають структурні особливості. Макроскопічні антрацити литої будови з добре або слабо вираженим раковистим зломом, як правило, виявляються термічно нестійкими. Незважаючи на зовнішню однорідність, антрацит за своєю структурою є складним конгломератом. Тільки невелика частина зольних домішок розподілена рівномірно в вуглих речовинах, значна ж частина зольних домішок розподілена нерівномірно. Велика їх частина зосереджена в тонких прошарках і окремих включеннях.

У виробництві електродних і електровугільних виробів застосовуються донецькі антрацити, які за своїми властивостями задовольняють вимогам промисловості. Для отримання виробів високої якості необхідно, щоб антрацит мав максимальний вміст вуглецю при мінімальній кількості баласту у вигляді золи, сірки і вологи.

Графіт застосовують у виробництві більшості вуглеграфітових матеріалів. Роль, яку вони виконують в технології цих матеріалів, різна. При виробництві електродів, введення графіту в масу, покращує її пластичність, знижує внутрішню тертя маси, а також тертя об стінки контейнера і мундштука, що забезпечує отримання більш щільних виробів. У цьому випадку вводиться невелика кількість графіту (4 - 6%), але навіть така кількість впливає на збільшення електропровідності, теплопровідності і термостійкості електродів.

Головним показником якості промислових марок графіту служать зольність і гранулометричний склад. Ці показники є достатніми тільки в тому випадку, якщо мова йде про графіти певного родовища і способу виготовлення,

так як при однаковому їх значенні графіти різного походження можуть сильно відрізнятися за іншими властивостями.

Натуральні графіти містять домішки мінералів, в повному обсязі віддалених при збагаченні руд. Цими мінералами є силікати, кварц і кальцит. З домішок, внесених при збагаченні графітових руд, слід назвати флотаційні реагенти - головним чином масло, металеве і окислене залізо, що потрапляє в графіт під час розмелювання в млинах. Ці домішки помітно впливають на такі властивості графітових матеріалів, як електропровідність і здатність пластифікувати електродну масу.

Кокс - один з найважливіших видів сировини для електродного і електровугільного виробництва, особливо для графітових виробів та електровугілля.

Проводиться два види малозольних коксів: нафтові і пекові. Перші отримують коксуванням нафтових залишків, другі - переробкою на кокс кам'яновугільного пеку.

Нафтовий кокс отримують при коксуванні різних нафтових залишків. Властивості нафтових коксів залежать головним чином від виду вихідної сировини. Тому нафтовий кокс поділяють за родом нафтових залишків, з яких вони виходять, на дві групи: крекінгові і піролізні. У межах кожної з цих груп доводиться розрізняти ще деякі різновиди, тому що піроліз і крекінг виробляються різними способами із застосуванням різної апаратури і різному температурному режимі, що в значній мірі впливає на властивості і склад отриманих залишків.

Різна мікроструктура піролізного і крекінгового коксів істотно впливає на технологічні умови виготовлення виробів з цих коксів. Велика кількість закритих мікропор в крекінгових коксах ускладнює пресування, веде до утворення у виробках тріщин після зняття навантаження.

В даний час виробництво нафтових коксів здійснюється в основному двома способами: коксування в металевих кубах що обігриваються і уповільнене коксування в неопалюваних камерах.

1.4.3 Механізм взаємодії розчинів на основі портландцементу з ремонтною поверхнею конструкцій

Формування контактного шару між бетоном поверхні ремонтної конструкції і ремонтним проникаючим складом дуже важливий процес від якого залежить якість ремонту і довговічність відремонтованої конструкції. Механізм взаємодії проникаючого складу з поверхнею конструкції, яка ремонтується, описується поверхневими фізико-хімічними процесами [138–140].

У процесі ремонту, а саме після нанесення ремонтного складу на поверхню конструкції, в зоні контакту між ними відбувається інтенсивне змочування, а також розвиваються процеси адсорбції, адгезії до поверхні конструкції і т. д. Основною вимогою проникаючих складів є показники пористості і водопоглинання поверхні, що ремонтується. При нанесенні проникаючих розчинів на суху поверхню ремонтної конструкції відбувається процес капілярного всмоктування, тобто змочування поверхні ремонтної конструкції за рахунок води, яка знаходиться в проникаючому розчині на основі портландцементу. В результаті цього відбувається ослаблення контактного шару за рахунок нестачі води для гідратації мінерального в'язучого в проникаючому складі. Також ослаблення контактного шару може бути викликано перезволоженням поверхні і збільшенням В/Ц ремонтного складу в граничній зоні з поверхнею конструкції.

Адгезійна міцність буде залежати від дифузії продуктів розчинення клінкерних мінералів проникаючого складу в граничний шар поверхні ремонтної конструкції і появи в ньому продуктів гідратації. Такі процеси зумовлюють міцне зчеплення і створюють умови для структуроутворення контактного шару, волога при цьому буде як з проникаючою композиції, так і з тіла ремонтної конструкції. Головним чином потрібно звертати увагу на В / Ц

контактного шару, від якого і залежатиме міцність зчеплення складу з поверхнею конструкції, що захищається. Також від цих чинників буде залежати ефективність ремонту в цілому.

Оскільки поверхня бетону за своєю природою пориста з шорсткістю і численними мікротріщинами, вона значно відрізняється від багатьох інших матеріалів по підходу до її ремонту. Шорсткість і пористість бетонної поверхні супроводжують утримання в мікро-капілярах бетону плівки адсорбованої вологи. Якщо кількість вологи перевищує допустимі показники, слід перед нанесенням ремонтного складу попередньо видалити зайву вологу з поверхні ремонтної конструкції.

Також слід пред'являти як до проникаючим складам, так і до ремонтної поверхні конструкції, стандартні вимоги, які висувалися для ремонту і відновлення конструкцій будівель і споруд традиційними складами.

У випадках захисту поверхні бетонних конструкцій матеріалами, які не враховують сумісності його з ремонтною бетонною поверхнею, ефективність ремонту сильно знижується, і це може призводити до передчасного руйнування конструкції, а по далі і до аварійності об'єкта.

1.4.4 Деформаційні властивості розчинів на основі портландцементу

Аналіз літературних даних [138-143] показав вплив багатьох негативних факторів на зміну міцності контактної шару. Дослідження деформацій в цементному камені і цементних бетонах на різних стадіях твердіння викладені в роботах З. Н. Цілоسانی, Н. Б. Урьєва, А. Е. Шейкіна, С. А. Александровського, М. І. Хігеровіча, В. Н. Михайлова, І. І. Уліцького тощо.

Відомо, що в зоні контакту поверхні конструкції з поверхнею захисного екрану можуть концентруватися напруги. Причинами їх концентрації є власні деформації : як поверхні конструкції, що захищається, так і деформації захисного матеріалу. Причому деформації і напруги виникають і змінюються на всіх стадіях формування контактної зв'язку «конструкція - захисний склад». Процес формування контактної шва супроводжується різними фізико-

хімічними та фізичними процесами, величини яких залежать від здатності розчину до упруго-пластичних деформацій, змісту захисного складу (зокрема його В / Ц), умов зберігання і проміжках в бетонуванні і т. п. Також ці процеси і чинники обумовлюють адгезійну міцність і швидкість її набору між конструкцією, що захищається і захисним екраном.

Після нанесення захисного екрану на бетонну поверхню в процесі склеювання в ремонтному шарі активно протікають об'ємні зміни і концентраційні явища, а також проходять процеси кристалоутворення, які закінчуються виникненням пластичних деформацій.

Струмопровідний захисний шар, за рахунок замкнутості новостворених пір, добре утримує вологу всередині себе і в контактному шарі. Тому, нанесення захисного екрану на поверхню конструкції, на наш погляд, повинно забезпечувати задовільні умови для гідратації мінерального в'язучого, а також зводити до мінімуму деформації контактної частини при твердінні і, тим самим, переводити їх в деформації набухання.

Виходячи з вищевикладеного, можна сказати, що при розробці складів і технологій ремонту та захисту конструкцій струмопровідними складами потрібно також звертати увагу і враховувати деформаційні властивості цих складів.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1

1. В результаті узагальнення даних, отриманих від регіональних філій ПАТ «Укрзалізниця», встановлено, що показники зносу будівель та споруд залежать від притаманної кожній філії частки протяжності залізничних ліній, електрифікованих постійним струмом, практично прямо пропорційно або навіть із деяким зростанням. Це підтверджує те, що найвпливовішим руйнівним фактором для будівель та споруд залізниць є струми витоку.

2. В результаті аналізу результатів натурних досліджень будівель, розташованих поблизу електрифікованих постійним струмом залізничних колій, встановлено, що величини електричних потенціалів на їх конструкціях зале-

жать від величин електричних потенціалів на рейках прямо пропорційно, а тангенс кута нахилу цієї лінійної залежності визначається відстанню від колії, матеріалом і вологістю конструкції, типом і вологістю ґрунтів. Величини потенціалів досягають +2В, а характерними пошкодженнями, обумовленими їх впливом, є тріщини і поверхневе руйнування.

3. В результаті натурних обстежень, що включають електричні вимірювання, встановлено:

- на ділянках електрифікованих постійним струмом, де потенціал на рейці при проходженні поїздів досягає +50 В, у вологу погоду величина потенціалу в верхній частині опор високих пасажирських платформ досягає +2 В, при цьому потенціал в зворотному, далекої від межі колії опори, як правило, на 10-30% менше потенціалу на ближній межі, що підтверджує електрокорозійний механізм їх пошкодження, що полягає в електро-міграційному вилугованні бетону від дії пульсуючого односпрямованого електричного потенціалу;
- найбільш характерними електрокорозійними ушкодженнями платформ, що швидко розвиваються є вертикальні тріщини і суттєві руйнування поверхні бетону на торцях опор.

4. За результатами електричних вимірювань розроблені схеми протікання струмів витоку через конструкції опор, які при пульсуючому режимі, відповідному руху поїздів, обумовлюють спостережувані електрокорозійні пошкодження бетону та які можуть бути використані для розробки способів захисту.

5. Виконано аналіз способів пасивного і активного, в тому числі катодного, протекторного, електро-дренажного захисту конструкцій від електрохімічної корозії і електрокорозії. Аналіз показав, що зменшення струму, що протікає через конструкцію, можливо за рахунок підвищення електричного опору конструкції або її поверхневого шару або навпаки, за рахунок пристрою на її поверхні електропровідного заземленого екрану. Прикладом таких екранів є розроблені в УкрДУЗТ металоін'єкційні обойми з діодним зазе-

мленням.

6. Висунуто робочу гіпотезу про захист конструкцій від струмів витоку шляхом нанесення на них покриттів з електропровідних композицій на основі мінеральних в'язучих, що мають низький електроопір, високі показники водостійкості і електрокорозійної стійкості.

8. Проаналізовано сучасні уявлення про процеси і закономірності структуроутворення та формування властивостей електропровідних композицій на основі мінеральних в'язучих. Встановлено, що найбільш ефективним способом забезпечення електропровідності композицій на основі мінеральних в'язучих є застосування електропровідних наповнювачів, в основному металевих і вуглеграфітових.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Матеріали для експериментальних досліджень

В експериментальних дослідженнях, у т.ч. пошукових, застосовували матеріали, наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Матеріали, застосовані в експериментальних дослідженнях
електропровідних композицій на основі портландцементу

Призначення	Найменування	Позначення
В'язучі речовини	Портландцемент ПЦ І-500Н, ПЦ ІІ-Б/Ш-400ДСТУ Б В. 2.7-46	ПЦ
	Розчин силікату натрію ГОСТ 13078 з силікатним модулем 2,7	СН
Добавка суперпластифікатор	Сульфонафтальінформальдегід СП-1 (С-3)	СП
Добавки- електроліти	НітратнатріюГОСТ 19906 $NaNO_3$	НН
	Сульфат натрію ГОСТ 21458 Na_2SO_4	СН
	Карбонат кальцію ГОСТ 5100 Na_2CO_3	КН
	Нітрат кальцію ГОСТ 4142 $Ca(NO_3)_2$	НК
	Хлорид кальціюГОСТ 450 $CaCl_2$	ХК
	Гідроксид кальцію ДСТУ Б В.2.7-90 $Ca(OH)_2$	ГК
	Інгібіторкорозії сталі	ІК
	Перетворювач іржі	ПІ
Заповнювач	Пісок кварцовий ДСТУ Б В.2.7-32 з модулем крупності 1,2–1,5	П
Електропровідні наповнювачі	Графіт змащувальний ГС-1 ГОСТ 8295, ГОСТ 17022	ГС
	Графіт ливарний ГЛ-1 ГОСТ 5279, ГОСТ 17022	ГЛ
	Графіт вторинний грудковий мелений	
	Алюмінієва пудра ПАГ-3 ГОСТ 5494	Al
	Порошок мідний ПМС-Н ГОСТ 4960	Cu
	Порошок цинковий ПЦ7 ГОСТ 12601	Zn
	Порошок залізний ПЖР 5 ГОСТ 9849	Fe

Із представлених на ринку електропровідних порошків, на основі проведеного аналізу та пошукових експериментів, а також з урахуванням вартості, для проведення досліджень, як основний, було обрано порошок графіту змащувальної марки ГС-1. Основні властивості графітового порошку представлені табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Основні властивості порошку графіту змащувального ГС-1

Найменування	Од. вимір.	Показник
Технічні умови	–	ГОСТ 17022
Зольність	%	0,5
Масова частина вологи	«	Не нормується
Масова частина міді	«	0,5
Масова частина летучих речовин	«	0,5
Масова частина фото-реагентів	«	0,5
Гранулометричний склад – залишок на ситі:		
02	«	1
016	«	Не нормується
0071	«	10
Водневий показник рН		6,0–8,2

Асортимент вуглеграфітових матеріалів досить численний, а діапазон властивостей широкий. Їх електротехнічні властивості обумовлені високим вмістом вуглецевих речовин, які зустрічаються в різноманітних формах і піддаються різним видам технологічної переробки.

Пояснення різноманітності фізичних властивостей різних видів вуглецевих матеріалів слід шукати в різних угрупованнях окремих кристалів, а також в специфічності кристалічної решітки графіту. Властивості готового продукту залежать не тільки від молекулярної, але і від дисперсної структури. Тому в залежності від ступеня дисперсності порошки будуть володіти різними властивостями навіть при великій схожості в молекулярному складі.

Кристалічна структура графіту являє собою безперервні ряди гексагональних груп атомів вуглецю, підстави яких утворюють паралельні площини

(рис. 2.1). Структура графіту є типовим прикладом шаруватої решітки. Кожен шар товщиною в один атом являє собою одну молекулу, яка простягається через весь кристал.

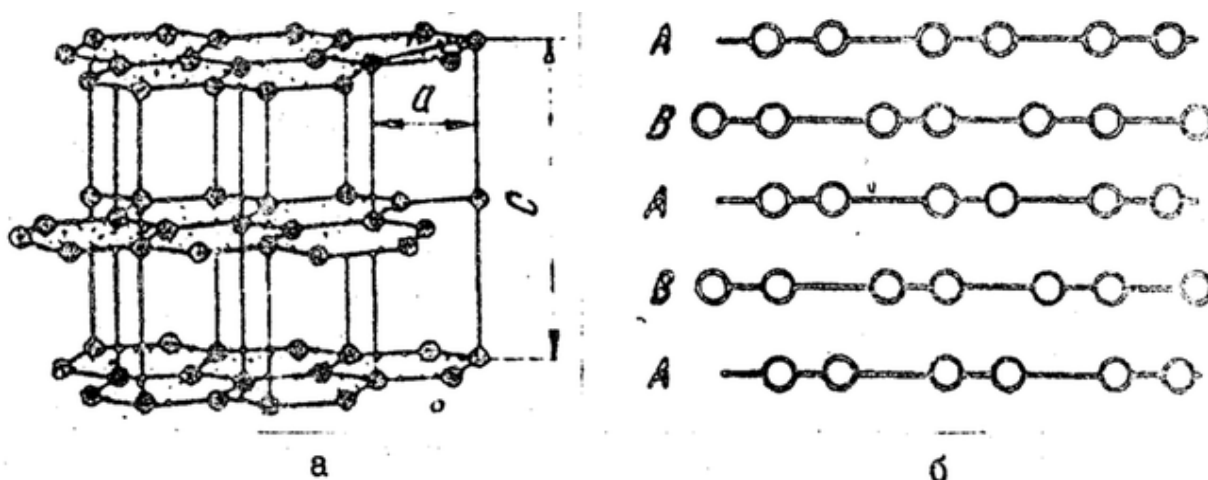


Рис. 2.1 Кристалічна структура графіту: а - модель графіту, б - взаємне розташування шарів в гексагональній структурі

Для графіту характерні дватиبي структури - гексагональна і ромбоєдрична. В обох структурах основним елементом є плоска сітка. Маючи в своєму розпорядженні ці плоскі сітки в тій чи іншій закономірності, можна створити ту чи іншу структуру графіту. Відстань між шарами як в одній, так і в іншій ідеалізованій структурі однакова. Отже, обидва структурні різновиди графіту будуть відрізнятися один від одного тільки закономірністю послідовного розташування плоских сіток.

В одній і тій же масі можуть бути присутні обидві структури графіту. Причому найбільш поширеною є гексагональна структура, яка міститься в будь-якій графітовій речовині (більше 80%). При високій температурі (понад 200°C) ромбоєдрична модифікація перетворюється в гексагональну, чим і пояснюється, що штучні графіти складаються майже повністю з гексагональної модифікації.

Розташування плоских шарів в гексагональній структурі підпорядковане наступній закономірності: два сусідніх шари зміщені один по відношенню до іншого на 14,17 нм, але в протилежну сторону.

Фізико-механічні та інші властивості використовуваних в експериментальних дослідженнях матеріалів визначені в лабораторії кафедри «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» Українського державного університету залізничного транспорту.

2.2 Методидосліджень

2.2.1 Дослідження залежності електрофізичних, фізико-механічних, гідрофізичних властивостей розроблюваних складів композицій від вмісту електропровідного наповнювача, комплексної хімічної добавки тощо визначали прямим експериментом, варіюючи вміст наповнювача і добавки та визначаючи для кожного складу ці властивості.

Ефективність захисту конструкцій із бетону заземленими електропровідними покриттями досліджували за оригінальною методикою, обґрунтованою і викладеною у розділі 3.

За результатами досліджень за допомогою електронних таблиць MS Excel будували графіки досліджених залежностей, за якими визначали кореляційні рівняння і коефіцієнти кореляції.

2.2.2 Питомий електричний опір та питому електропровідність композицій визначали у покриттях. Для цього досліджувану композицію наносили на поверхню зразків-балочок розміром 160×40×40 мм із цементно-піщаного розчину складу 1:3 з В/Ц=0,3.

Після затвердіння композиції узапланованому для експерименту віці та за запланованої для експерименту вологості визначали електричний опір зразка покриття за допомогою оригінальної установки, наведеної на рис. 2.2. Вимірювали силу струму I , який протікає крізь покриття під впливом напруги U , і розраховували електричний опір зразка покриття:

$$R = U/I = [B/A = \text{Ом}]. \quad (2.1)$$

Напругу U та силу струму I вимірювали у колі вимірювання рис. 2.2 за допомогою цифрових мультиметрів Sanwa PC500 і Sanwa PC510 (Японія, рис.

2.3). Ці мультиметри дозволяють вимірювати силу струму, напругу, електричний опір та ємкість і передавати їх значення на ПК, який за допомогою прикладного програмного забезпечення PC Link Plus здійснює їх запис у режимі реального часу.

Після опрацювання методики вимірювань визначення електричного опору R зразка покриття здійснювали прямим вимірюванням мультиметрами Sanwa PC500 і Sanwa PC510 між електродами 3 (рис. 2.2).

Технічні характеристики мультиметрів Sanwa PC500 і Sanwa PC510:

1) Діапазон вимірювань за функціями:

- напруга (постійна та перемінна) – 50 мВ – 1000 В;
- сила струму (постійного та перемінного) – 500 мкА – 10 А;
- опір – 50 Ом – 50 МОм;
- ємкість – 50 нФ – 9999 мкФ;
- частота – 5 Гц – 125 кГц.

2) Роздільна здатність: 0,01 мВ, 0,01 Ом, 0,01 нФ; 0,1 мкА;

3) Робочі частоти – 40–20000 Гц;

4) Базова погрішність вимірювання – $\pm 0,06\%$;

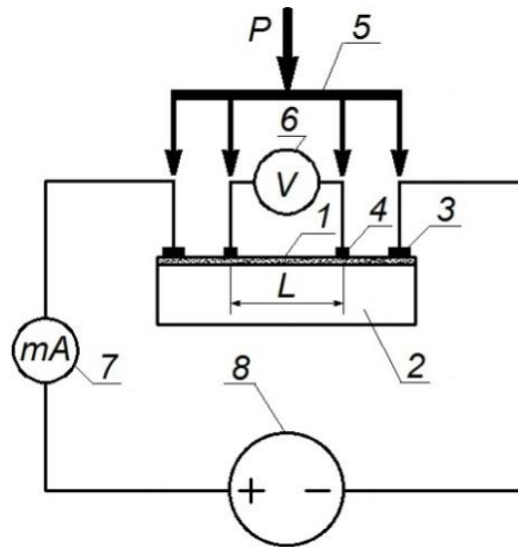
5) Зв'язок с ПК за допомогою з'єднувального кабелю Sanwa KB-USB2;

6) Ліцензійне програмне забезпечення – PC LinkPlus.

7) Умови експлуатації:

- 0–35°C за вологості 0–80 %;
- 35–50°C за вологості 0–70 %.

a)



б)

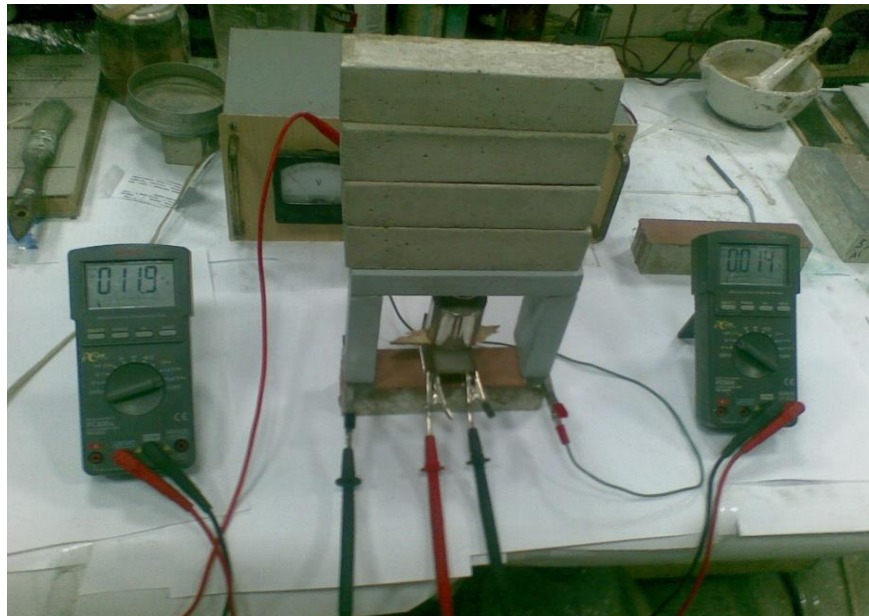


Рис. 2.2 Схема вимірювання електричного опору електропровідних покриттів: 1– покриття; 2– зразок із цементно-піщаного розчину; 3,4– накладні електроди (пластини із неіржавіючої сталі, що накладаються на покриття через прокладки із синтетичного нетканого матеріалу товщиною 1,5–2 мм, просочені насиченим розчином мідного купоросу, розміром 40×20 мм для вимірювання сили струму(3) та 40×5 мм для вимірювання напруги (4); 5 – портальне пристосування для притискання електродів загальним зусиллям $P = 5$ Н; 6 – вольтметр; 7 – міліамперметр; 8 – джерело живлення



Рис. 2.3 Мультиметри цифрові Sanwa PC500

Питомий електричний опір ρ , Ом \times м та питому електропровідність σ , См/м визначали за величиною електричного опору R , Ом:

$$\rho = Ubh/IL = R \times S/L = [\text{Ом} \times \text{м}^2/\text{м} = \text{Ом} \times \text{м}];$$

$$\sigma = 1/\rho = [1/(\text{Ом} \times \text{м}) = \text{См}/\text{м}],$$

де b – ширина покриття, 40 мм; h – вимірювана товщина покриття між електродами, мм; S – площа поперечного перерізу покриття, $S = bh$, L – відстань між центрами електродів, якими вимірюють напругу або безпосередньо електричний опір, 30 мм (рис. 2.2).

Товщину покриття h визначали прямими вимірюваннями на розрізаних зразках-балочках (рис. 2.4, а) за допомогою відлікового мікроскопу МПБ-2 (рис. 2.4, б).

2.2.3 Фізико-механічні та гідрофізичні властивості – міцність на згин і стиск, середню густину, водопоглинення, коефіцієнт водостійкості (розм'якшення) визначали стандартними (традиційними) методами. Для визначення цих характеристик із суміші композиції виготовляли зразки-балочки розміром 40 \times 10 \times 10 мм та/або 160 \times 40 \times 40 мм, які випробували після встановленого терміну природного твердіння стандартними (традиційними) методами.

Коефіцієнт розм'якшення визначали як відношення міцності зразка на стиск у водонасиченому до постійної маси стані, до міцності на стиск у повітряно-сухому стані.

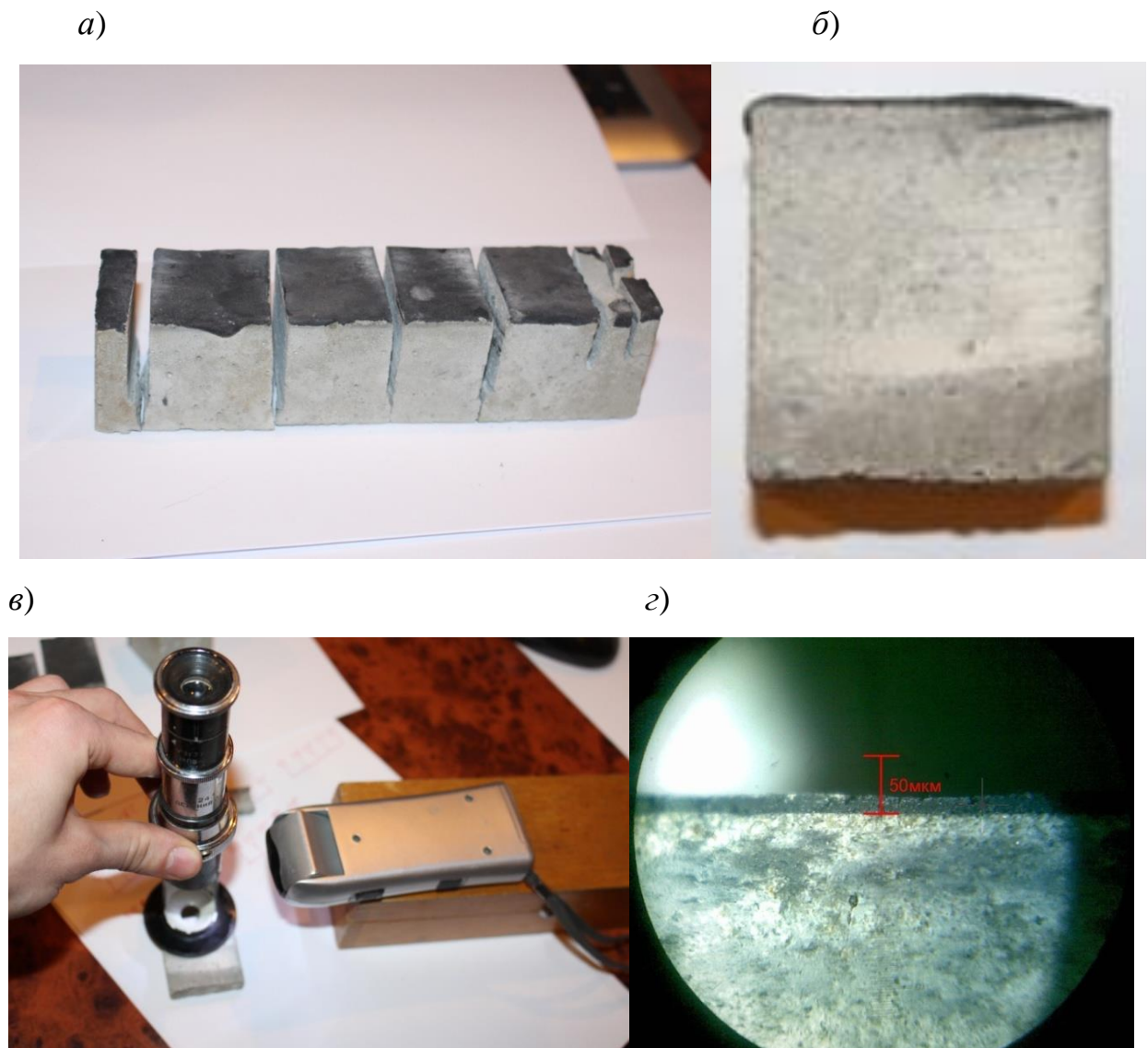


Рис.2.4 Вимірювання товщини покриттів: а – розрізаний зразок-балочка з покриттям; б – торцева грань розрізаного зразка; в – вимірювання товщини покриття відліковим мікроскопом МПБ-2; г – розріз покриття на зразку цементно-піщаного розчину у розрізі, $\times 24$

2.2.4 Зчеплення композицій з поверхнею бетону

Зчеплення(адгезію) композицій з поверхнею бетону визначали випробуванням на відривна покриттях, нанесених на грань зразка куба з розміром ребра 100 мм із бетону класу В7,5 або довгу грань зразка-призми розміром $160 \times 40 \times 40$ мм із цементно-піщаного розчину складу 1:3 з В/Ц=0,3.

На покриття епоксидним клеєм наклеювали 3 штампа (рис. 2.5, а). Після затвердіння клею штампи відривали за допомогою адгезіометра Онікс-АП (рис. 2.5, б). Прилад за допомогою вбудованого програмного забезпечення самостійно обробляє результати трьох випробувань і відображає на екрані величину міцності зчеплення покриття з основою.

У разі когезійного відриву по бетону або розчину (рис. 2.5, в) вважали, визначена величина є міцністю бетону або розчину на розтяг, а міцність зчеплення композиції з бетоном або розчином є більшою за величиною.

2.2.5 Фізико-хімічні дослідження продуктів гідратації композиції на основі портландцементу і комплексної хімічної добавки з графітовим наповнювачем виконували у складі рентгенофазового аналізу, аналізу інфрачервоних спектрів поглинання, світової мікроскопії.

Рентгенограми отримували за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-1,5 з рентгенівською трубкою 1,6БСВ27-Fe із залізним катодом. Запис рентгенограм здійснювали за режимом: інтервал кутів $2\theta - 7-80^\circ$; напруга на катоді – 30 кВ, сила струму – 20 мА. Зразок та лічильник рентгенівських імпульсів обертаються автоматично в горизонтальній площині навколо загальної вертикальної осі гоніометра із співвідношенням швидкостей $V_{\text{ліч}} = 2V_{\text{зр}}$. Лічильник вимірює інтенсивність дифракційної картини послідовно під різними кутами відбивання.

a)



б)



в)



Рис. 2.5 Визначення зчеплення композиції з поверхнею бетону: а – штампи, наклеєні на зразок бетону; б – вимірювання міцності на відрив адгезіометром Онікс-АП; в – когезійний відрив по бетону

Інфрачервоні спектри поглинання отримували за допомогою ІЧ-Фур'є-спектрометра BrukerAlpha та його програмного забезпечення OPUS для ПК зі зразків-таблеток у діапазоні довжини інфрачервоних хвиль $400-4000 \text{ см}^{-1}$. Для отримання зразка пробу композиції подрібнювали, перетирали у ступці, змішували з бромідом калію *KBr* і пресували у прес-формі під тиском 8–8,5 МПа.

Дифракційні максимуми рентгенограм та смуги поглинання ІЧ-спектрів ідентифікували за [144–150].

Світову мікроскопію застосовували для дослідження мікроструктури композицій. Дослідження проводили за допомогою бінокулярного мікроскопа МБС-2 увідбитому світлі на поверхнях композицій або їх відколах зі збільшенням до $\times 87$, яке дозволяє розрізняти структурні елементи розміром $1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-8} \text{ м}$. Мікрознімки отримували зйомкою крізь окуляр мікроскопу цифровою камерою з роздільною здатністю 8 мегапікселей.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2

1. Обрано матеріали для проведення досліджень струмопровідних складів та визначені їх основні характеристики.
2. Визначено основні методи досліджень захисних покриттів проникаючих композицій на основі портландцементу.
3. Розглянуто і обрані прилади та обладнання для проведення досліджень і випробувань.

3 РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ УЯВЛЕНЬ ПРО ЕЛЕКТРОКОРОЗІЮ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЦЬ ТА ЇХ ЗАХИСТ ЗАЗЕМЛЕНИМИ ЕКРАНАМИ ІЗ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ

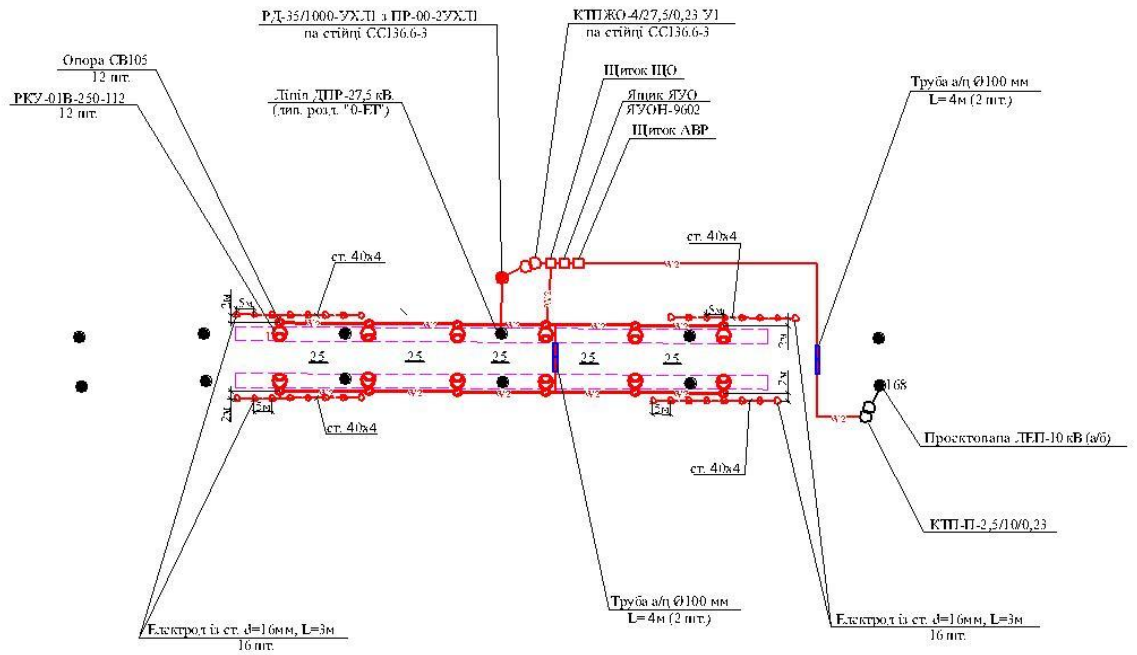
3.1 Механізм електрокорозії залізобетонних і бетонних конструкцій пасажирських платформ

Виконано аналіз результатів численних досліджень технічного стану та умов експлуатації будівель та споруд на електрифікованих постійним струмом ділянках залізниць, що зазнають електрокорозійних ушкоджень, виконаних за участю (п. 1.2). За результатами цього аналізу удосконалено уявлення про механізм протікання струмів витоку з рейок залізничної колії крізь конструкції цих будівель та споруд та їх електрокорозійне пошкодження. Зокрема, більш детально, ніж раніше (п.1.2.2), розглянуто та уточнено електрокорозійні процеси, що відбуваються у конструкціях пасажирських платформ.

На кола протікання електричного струму крізь конструкції високих пасажирських платформ істотний вплив має заземлення металевих перил, яке обов'язково влаштовується для попередження ураження пасажирів електричним струмом у разі його стікання з мережі освітлення та, особливо, контактної мережі через розташовані поруч з платформою опори (рис. 3.1).

На ділянках, електрифікованих постійним струмом, у місцях позитивного (пульсуючого однонаправленого) електричного потенціалу на рейках струм з них за пульсуючим режимом стікає через вологі баласт і ґрунт на конструкції платформ (рис. 3.2, *a*, 3.3, *a*) і далі через захисний шар бетону на арматуру, з неї через заземлення знов у ґрунт (рис. 3.2, *a*) або крізь обводнений бетон далі по місцевості до місць з підвищеним негативним потенціалом (водоймищ тощо, рис. 3.3, *a*).

a)



б)

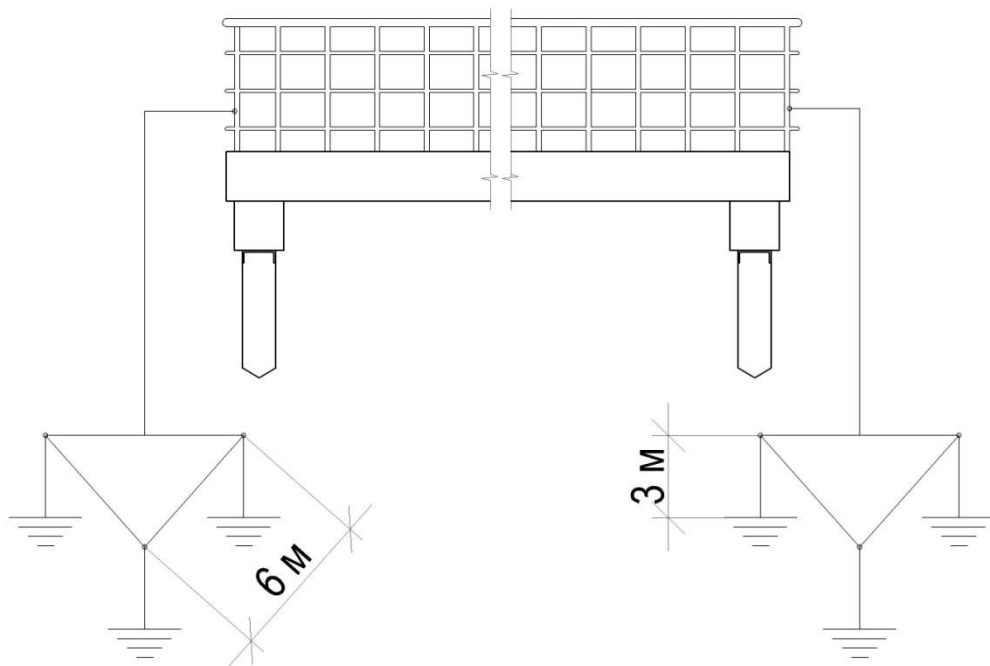
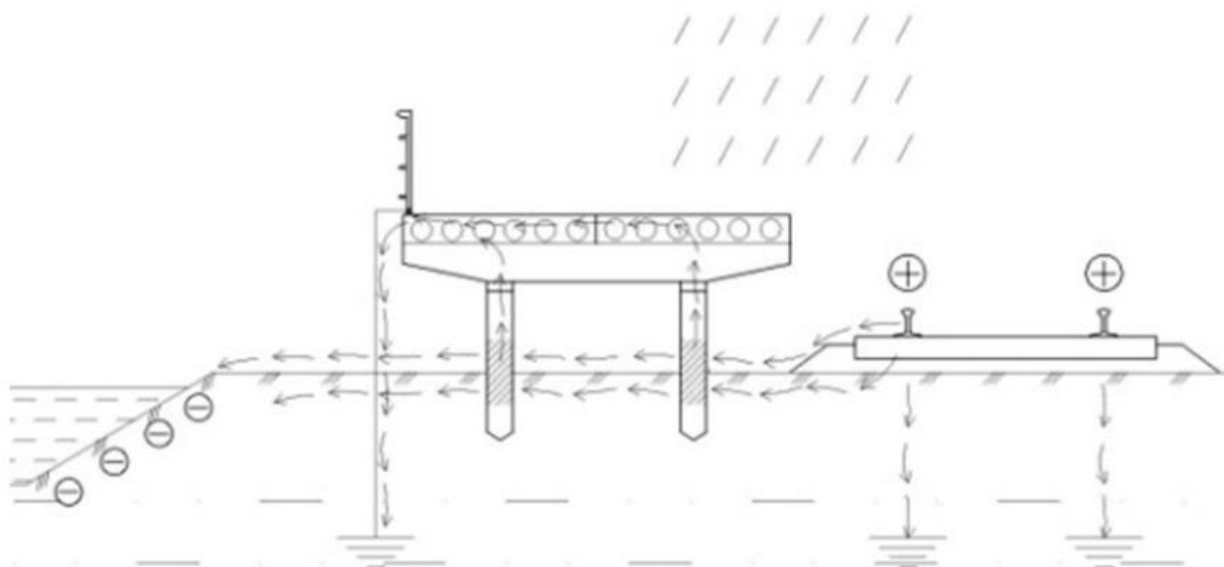


Рис. 3.1 Схема заземлення металевих перил високих пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць: а – план; б – фасад

а)



б)

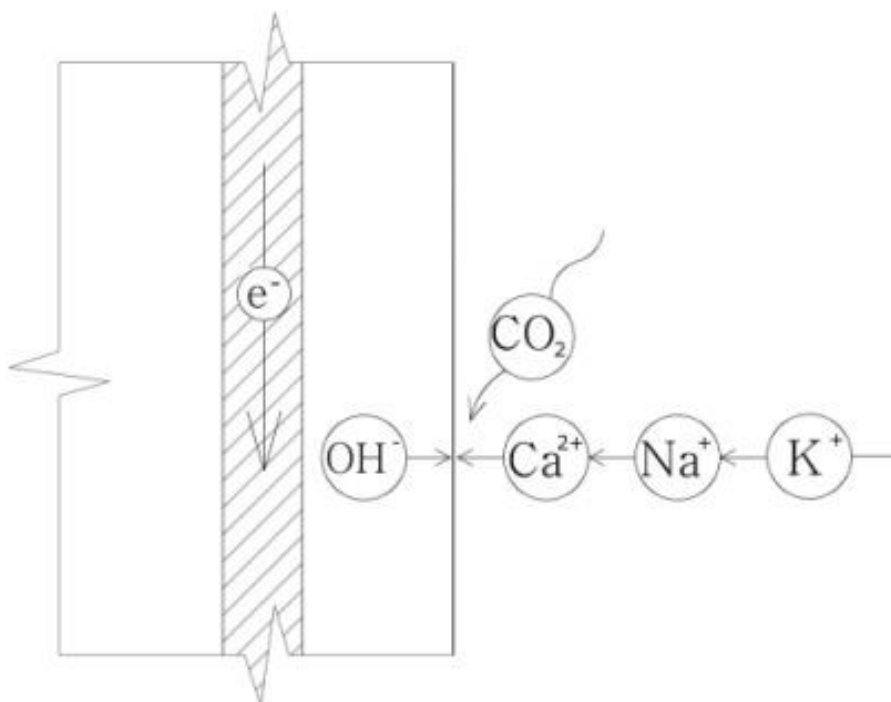
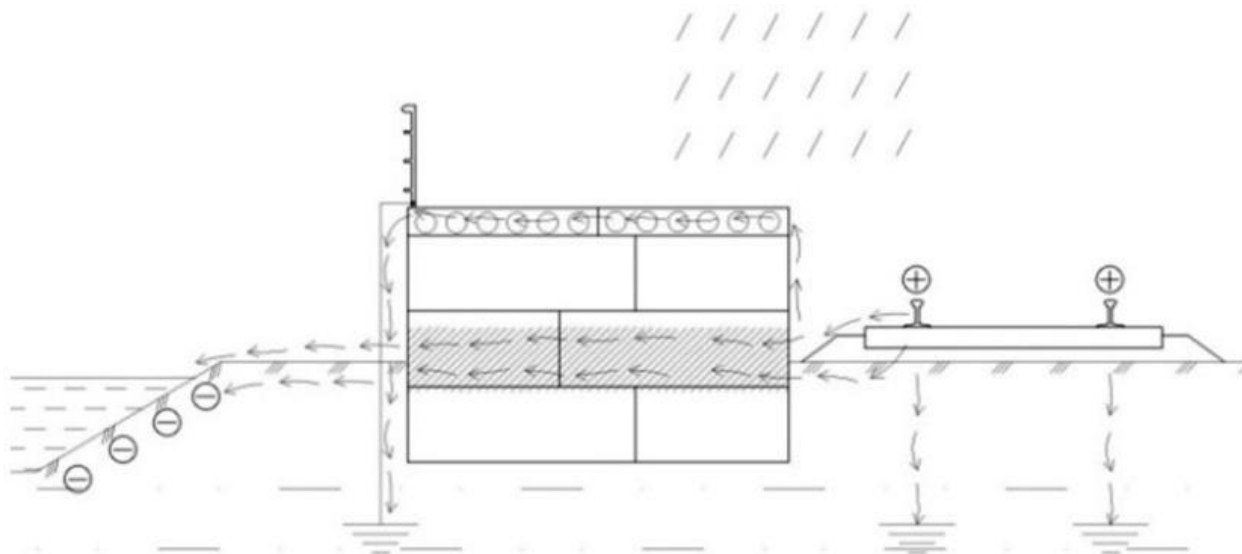


Рис. 3.2 Схема електрокорозійних процесів у незахищених конструкціях високих пасажирських платформ з опорами із залізобетонних стояків і ригелів: а – схема протікання струму витoku крізь конструкції платформи; б – схема переносу іонів (та електронів) – носіїв струму крізь обводнений ґрунт і бетон захисного шару до арматури

a)



б)

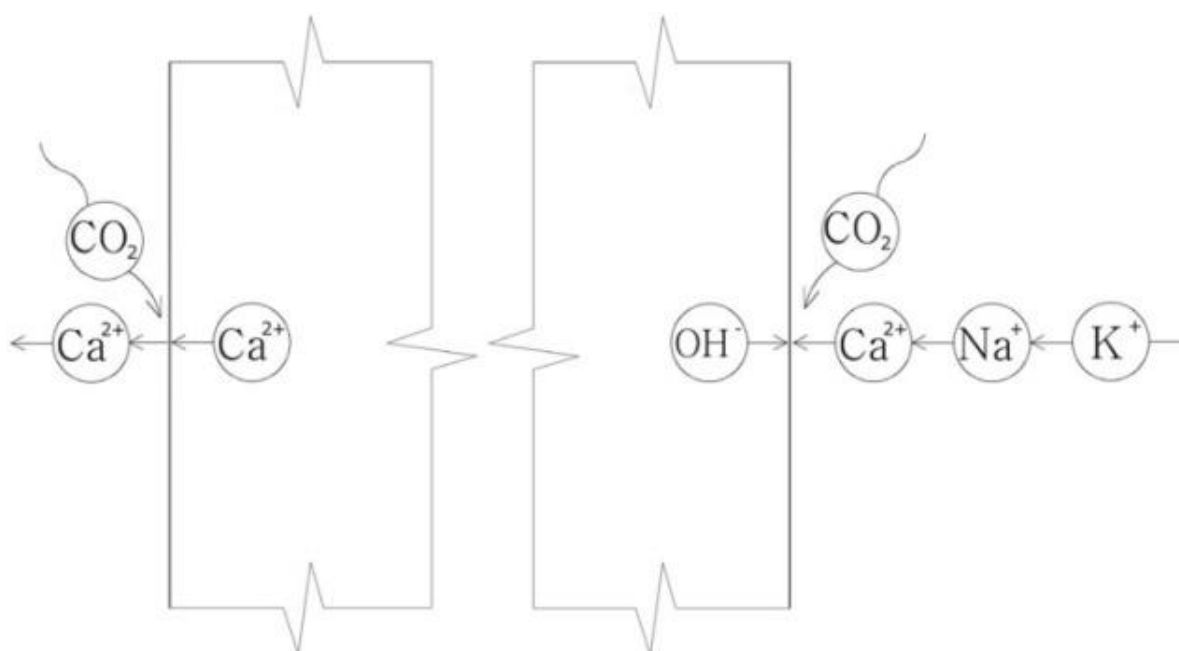


Рис. 3.3 Схема електрокорозійних процесів у незахищених конструкціях високих пасажирських платформ з опорами із бетонних блоків: *a* – схема протікання струму витoku крізь конструкції платформи; *б* – схема переносу іонів (та електронів) – носіїв струму крізь обводнений ґрунт і бетон

Функціонування такого електричного кола підтверджується виявленими у місцях, де потенціал на рейці досягає +50 В, у вологу погоду потенціалів на верхній частині платформи до +2 В, причому з польової сторони ці потенціа-

ли, як правило, на 10–30 % менші, ніж зі сторони колії. Ця різниця потенціалів є причиною протікання електричного струму крізь конструкції платформ. Електрокорозійний характер процесів підтверджує також те, що основні пошкодження зосереджені навколо швів між плитами покриття платформ з порушеною гідроізоляцією, отже, у місцях з підвищеними вологістю та електропровідністю (п. 1.2.2).

В обох випадках – залізобетонних стояків та опор із бетонних блоків, електричний струм забезпечується: у ґрунті та бетоні – міграцією катіонів Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , аніонів OH^- , в арматурі та заземленні – електронів e^- так, як вказано на рис. 3.1, б і 3.2, б.

Протікання такого струму крізь захисний шар залізобетонних конструкцій (рис. 3.2, б) обумовлює прискорення карбонізації бетону з поверхні, а в приарматурній зоні – вилуговування, зниження pH , втрату захисних властивостей відносно арматури та її швидку корозію зі збільшенням об'єму та тріщиноутворенням в бетоні (рис. 1.8, б).

Протікання такого струму крізь масивну неармовану конструкцію (рис. 3.3, б) обумовлює вилуговування бетону зі зниженням його міцності, інтенсифікацією морозного руйнування тощо (рис. 1.5, б, 1.9, а). Більш інтенсивне вилуговування і руйнування звичайно відбувається з боку, протилежного рейковій колії (рис. 1.9, б, 1.11, а).

Протікання постійного струму крізь конструкції платформ обумовлює також їх макрополяризацію та, як наслідок, накопичення надлишкових електричних зарядів – негативних зі сторони колії, позитивних – з польової сторони. Надлишкові електричні заряди спричиняють виникнення розтягувальних напружень, які сприяють розкриттю і розвитку тріщин (рис. 1.8, б, 1.11, а), відшаруванню штукатурки і кладки підсилення (рис. 1.11, а).

Пошкодження опор, виконаних із залізобетонних блоків стін підвалів ФБС 24.4.6 і ФБС 9.4.6 ГОСТ 13579-78 і стояків та ригелів за ГОСТ 24155-80 прискорювалось ще й за рахунок їх виготовлення із бетону низької марки М200 (для блоків ФБС марку підвищували до М200 від типової М100), який

має морозостійкість та водонепроникність не більше F50 і W2, відповідно, що виявилось недостатнім для експлуатації в умовах ділянок, електрифікованих постійним струмом. Характерно, що арматура, закладні деталі та затяжки (скрутки) залізобетонних плит покриття, металевих перил платформ істотної корозії не зазнавали.

Таким чином, уточнено схеми протікання струмів витоку з рейок залізничної колії крізь конструкції споруд, механізм руйнування бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій від впливу постійного пульсуючого електричного потенціалу. Встановлено, що на ділянках, електрифікованих постійним струмом, у місцях позитивного потенціалу на рейках струм з них за пульсуючим режимом стікає через вологі баласт і ґрунт на конструкції платформ і далі, через захисний шар бетону на арматуру залізобетонних конструкцій, з неї через заземлення знов у ґрунт або крізь обводнений бетон бетонних конструкцій далі по місцевості до місць з підвищеним негативним потенціалом (водоймищ тощо). Ці струми обумовлюють вилугування бетону, електрокорозію арматури, а потенціали і надлишкові заряди – утворення і розвиток тріщин.

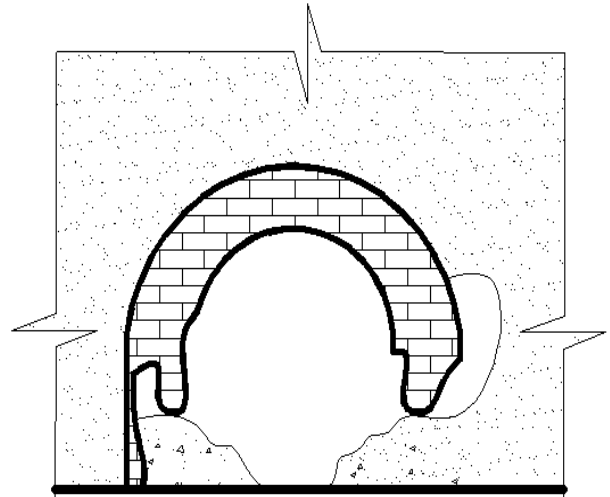
3.2 Механізм захисту залізобетонних і бетонних конструкцій пасажирських платформ від електрокорозії заземленими екранами

В УкрДУЗТ розроблено та впроваджено на об'єктах Південної залізниці ефективне конструктивно-технологічне рішення відновлення несучої здатності залізничних водопропускних труб металоін'єкційними сорочками та обоймами (рис. 3.4 *а, б, в*). Проте на ділянках, електрифікованих постійним струмом і з позитивним потенціалом на рейках, через сталеву оболонку такої сорочки відбуватиметься протікання струму витоку з рейок (рис. 3.4, *в*).

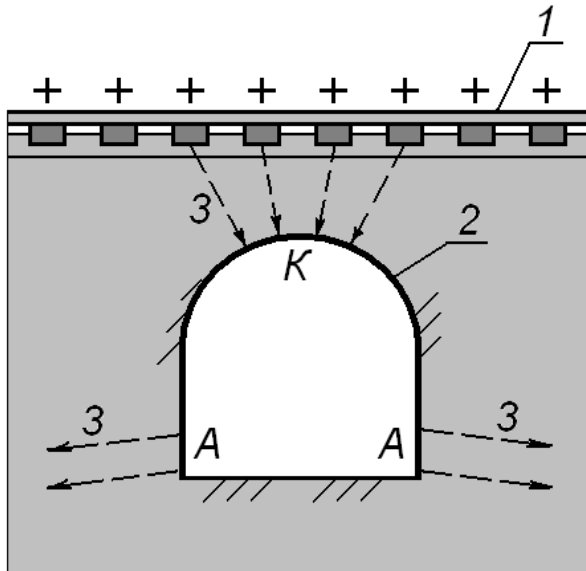
а)



б)



в)



г)

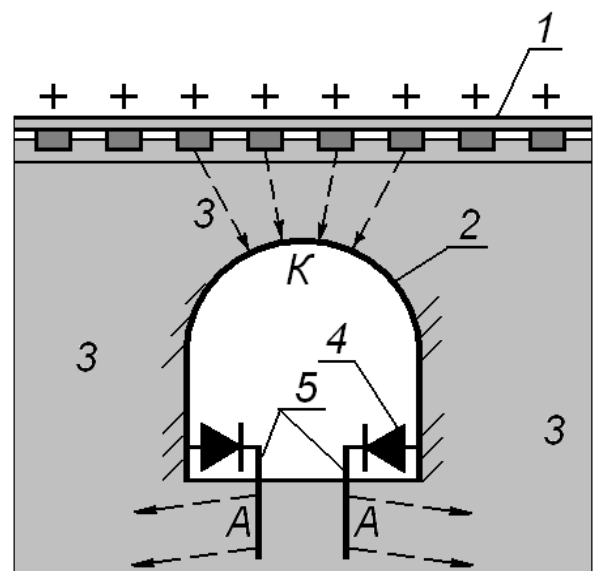


Рис. 3.4 Ремонт і захист від електрокорозії водопропускної труби у залізничному насипу: а, б - пошкодження у вигляді вивалів; в, г - схема протікання струму витoku з рейок через незахищену (в) і захищену діодним заземленням (г) металоін'єкційну сорочку: 1 – рейкова колія; 2 – металоін'єкційна сорочка; 3 – струми витoku; 4 – вентиль (діод) захисного улаштування; 5 – стержень заземлення; К – катодна зона; А – анодна зона (корозійно небезпечна)

У місцях стікання струму з оболонки у бетон чи кладку конструкції і далі у ґрунт утворюватимуться анодні ділянки, на яких відбуватиметься швидке анодне розчинення заліза, отже, його електрокорозія.

Для запобігання електрокорозії металевої оболонки сорочки на ділянках, електрифікованих постійним струмом і з позитивним потенціалом на рейках, її запропоновано захищати вентильним захистом, або діодним заземленням, яке забезпечує дренажування струмів витку (рис. 3.4, в). Стікання струму у ґрунт у цьому випадку відбувається зі сталевих стержнів заземлення, які стають анодами та кородують замість оболонки (рис. 3.4, в).

Наявність в електричному колі вентиля – діода, запобігає зворотному натіканню блукаючих струмів із ґрунтів на оболонку та їх подальшому стіканню у напрямку рейок з утворенням анодних ділянок в інших місцях та електрокорозії на них.

Така заземлена металоін'єкційна сорочка добре захищає бетон та розчин кам'яної кладки самої конструкції труби від електрокорозійного вилуговування, запобігаючи винесення продуктів корозії за рахунок абсолютної водонепроникності, капілярної і дифузійної непроникності сталі. Отже, заземлена металоін'єкційна сорочка для залізобетонних, бетонних, кам'яних конструкцій може бути надійним екранним захистом від електрокорозії струмами від пульсуючого однонаправленого електричного потенціалу.

За участю автора розроблено конструктивно-технологічне рішення ремонту і захисту стояків високих пасажирських платформ заземленими металоін'єкційними сорочками, що є заземленими екранами.

Проте металоін'єкційні сорочки та обойми, отже, екрани, є достатньо коштовними і їх доцільно застосовувати за необхідності відновлення несучої здатності конструкцій. У разі потреби лише у їх захисті або дрібному ремонті невеликих поверхневих пошкоджень заземлені екрани доцільно виконувати у вигляді штукатурних покриттів із електропровідних композицій проникної дії на основі мінеральних в'язучих речовин, які значно дешевші метало-

ін'екційних аналогів. Такі екрани забезпечать якщо не повне відведення струмів витоку від споруди, то істотне зниження їх величин.

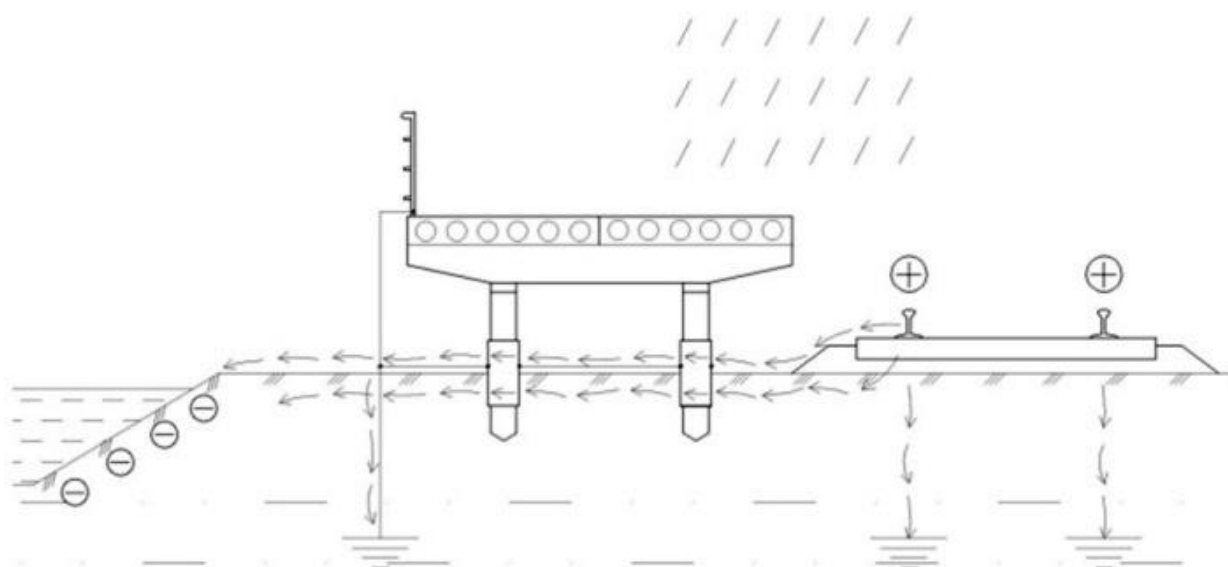
Електропровідність покриття забезпечується електропровідними наповнювачами. Комплексна хімічна добавка композиції забезпечує ущільнення та підвищення електричного опору поверхневого шару бетону конструкції, а електропровідний наповнювач – електропровідність самого покриття, яке у разі його заземлення дренує струми витоку, виконуючи функції екранного захисту конструкції.

З урахуванням цього пропонуються нові принципові схеми конструктивно-технологічного рішення ремонту і захисту стояків та опор високих пасажирських платформ, що зазнають електрокорозії, заземленими екранами – штукатурними покриттями із електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу. Ця схема придатна і для ремонту стояків та опор металоін'екційними сорочками, які доцільно влаштовувати у разі суттєвих пошкоджень конструкцій зі зниженням несучої здатності. Розроблені схеми протікання струмів крізь екрани і заземлення наведені на рис. 3.8. У цих схемах можлива заміна діодного заземлення (рис. 3.4, з) наявним на платформах заземленням перил (рис. 3.1).

Як бачимо зі схем рис. 3.5, струми витоку оминають конструкції стояків і опор високих пасажирських платформ по електропровідним екранам і далі заземленням стікають у ґрунт.

Таким чином, розроблено принципові схеми захисту конструкцій високих пасажирських платформ від електрокорозії струмами від пульсуючого однонаправленого електричного потенціалу заземленими екранами у вигляді штукатурних покриттів із електропровідних композицій проникної дії на основі мінеральних в'язучих речовин.

а)



б)

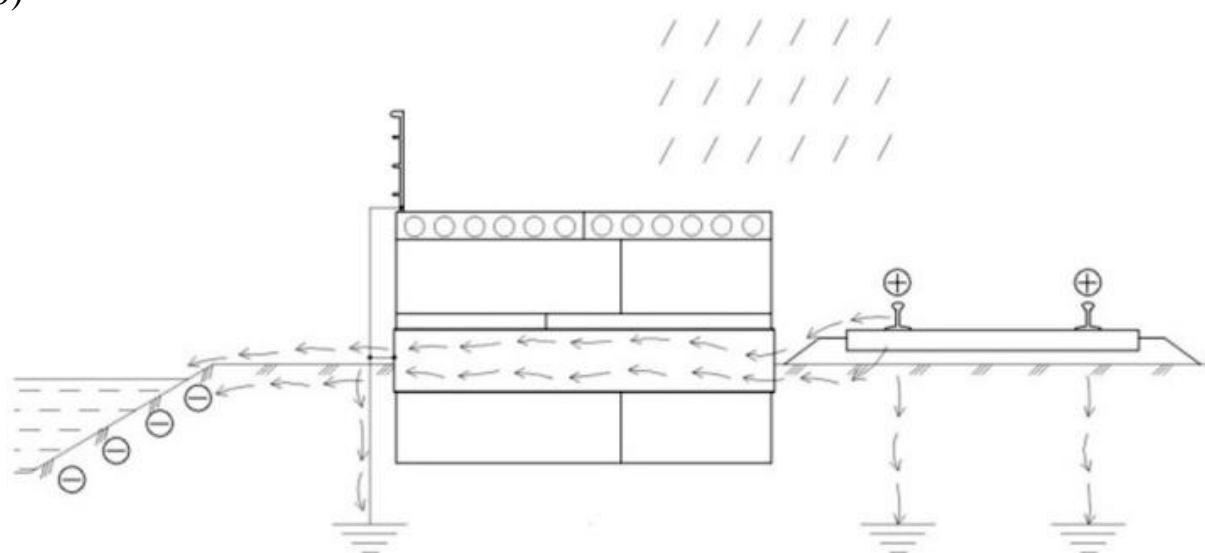


Рис. 3.5 Схема протікання струму витoku на ділянках з позитивним потенціалом на рейках через захищені заземленими екранами конструкції високих пасажирських платформ з опорами із залізобетонних стояків і ригелів (а) та бетонних блоків (б)

3.3 Обґрунтування створення електропровідних композицій проникної дії для штукатурок – заземлених екранів для захисту від електрокорозії

Для розробки складів електропровідних композицій проникної дії на основі портландцементу для захисту від електрокорозії виконано теоретичні дослідження впливу структури на їх електрофізичні властивості, зокрема, питомий електричний опір.

Для електротехнічних розчинів та бетонів, звичайних бетонів деяких спеціальних конструкцій пред'являються вимоги до питомого електричного опору або питомої електропровідності, звичайно обмежені досить вузьким діапазоном значень. Так, для бетонів підрейкових основ залізниць як захід захисту від електрокорозії та забезпечення надійної роботи рейкових кіл забезпечується підвищений електричний опір важкого бетону [79-82; 151]. У ДСТУ Б В.2.6-209:2016 «Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм. Технічні умови», розробленому УкрДУЗТ, це реалізовано нормуванням питомого електричного опору бетону не менше 100 Ом×м (за певної вологості).

Для захисту від електрокорозії під час ремонту споруд також забезпечується підвищений електроопір, для чого застосовують полімерцементний розчин [152]. Електропровідні бетони застосовують для нагрівальних елементів [128, 153, 154], а також для захисту від іонізуючих випромінювань [155]. Електропровідністю бетону управляють за рахунок застосування електропровідних наповнювачів, частіше вуглеграфітових [153, 154], металовмісних [155].

На електропровідність впливають також склад (співвідношення компонентів) [156] і структура [157-159], особливо мікроструктура [160-162] композиту, технологічні впливи під час його виготовлення [155, 161, 162]. Електропровідність бетону суттєво залежить від вологості [163], що може створювати проблеми під час експлуатації спеціальних конструкцій. Управління

електропровідністю під час виготовлення композитів здійснюють емпіричним шляхом, досліджуючи експериментально її залежність від рецептно-технологічних факторів. Це досить трудомістко і тривало. Тому проблема прогнозування питомого електричного опору композиту за даними про питомий електричний опір наповнювача і матриці та узагальненими характеристиками його складу є актуальною.

Композиційний матеріал (матричний композит за [164]) складається із структуроутворюючих частинок (наповнювача), зв'язаних воедино матрицею. 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. 3.6, *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. 3.6, *б*, *в*.

Як бачимо із рис. 3.6, *б*, *в*, загальний електричний струм I , що протікає крізь умовну елементарну комірку, розділяється на струми, які протікають крізь частинку наповнювача (I_n) і прошарки між частинками наповнювача – поперечний (I_m^n) і подовжній ($I_m^{пд}$) напрямку струму.

Оскільки довжина частинки наповнювача є змінною від 0 до d і, відповідно, довжина поперечної ділянки матриці також є змінною від δ до $\delta + d/2$, у схемі рис. 3.6, *а* умовно замінимо форму частки наповнювача з кулі на куб рівного об'єму (рис. 1, *в*):

$$V_{\text{кул}} = \pi d^3/6 = V_{\text{куб}} = a^3, \text{ м}^3. \quad (3.1)$$

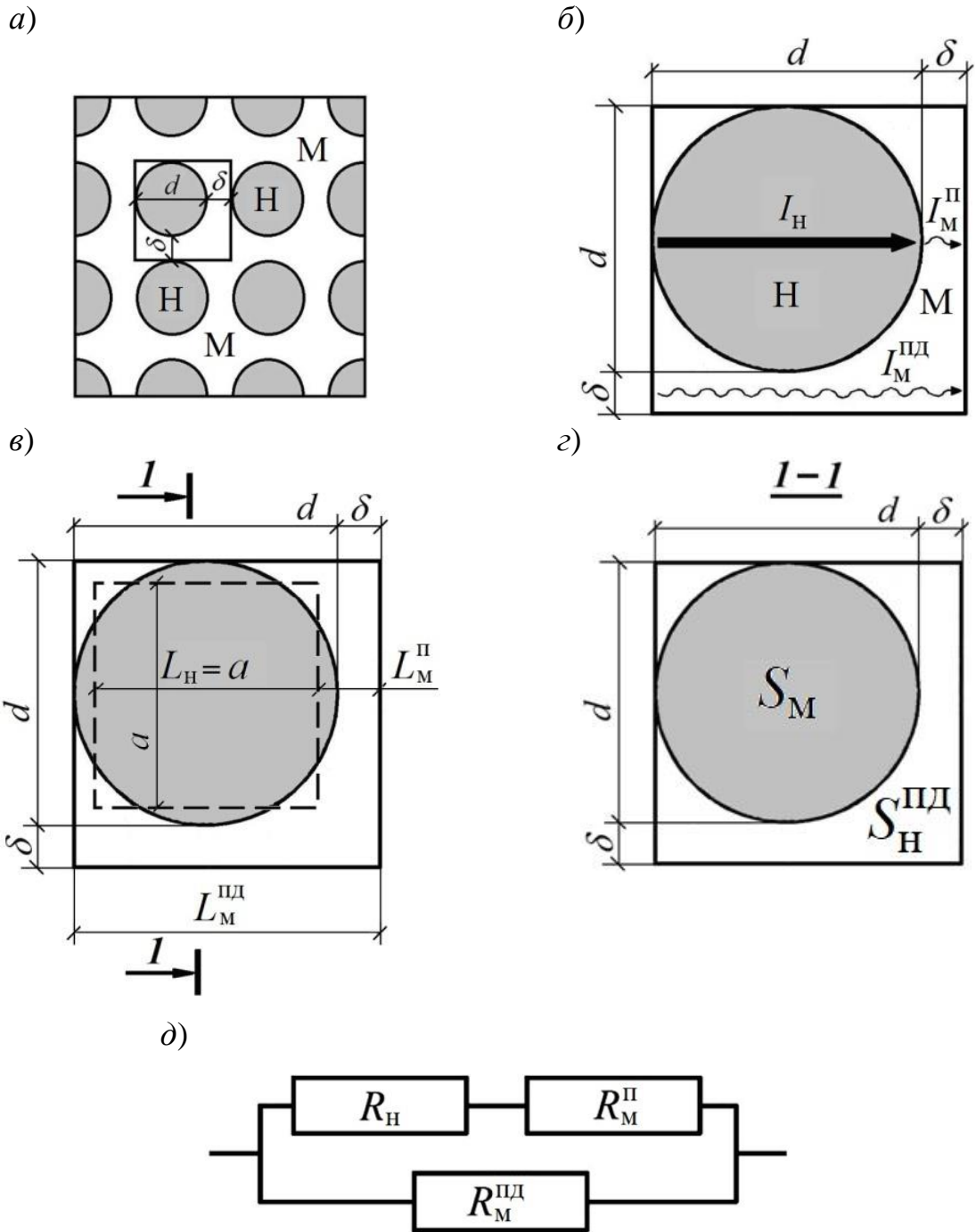


Рис. 3.6 Схема формування електричного опору композиційного матеріалу: *а* – схема структури композиційного матеріалу; *б* – схема умовної елементарної комірки композиційного матеріалу і протікання струму крізь неї; *в* – еквівалентна схема умовної елементарної комірки композиційного матеріалу і протікання електричного струму крізь неї; *г* – еквівалентна схема електричного опору елементарної комірки композиційного матеріалу; Н – наповнювач; М – матриця

Довжина ребра такого куба дорівнюватиме:

$$a = d\sqrt[3]{\pi/6}, \text{ м.} \quad (3.2)$$

Згідно схемам рис. 3.6, б, в питомий електричний опір композиційного матеріалу дорівнюватиме питомому електричному опору його умовної елементарної комірки:

$$\rho_k = RS/L = R(d+\delta)^2/(d+\delta) = R(d+\delta), \text{ Ом}\times\text{м.} \quad (3.3)$$

де R – електричний опір, Ом; S – площа поперечного перерізу, м²; L – довжина, м:

$$S = (d + \delta)^2, \text{ м}^2; L = d + \delta, \text{ м.} \quad (3.4)$$

Виходячи із такої схеми протікання струму, еквівалентна схема електричного опору умовної елементарної комірки композиту за аналогією з [163] може бути представлена у вигляді рис. 3.6, з, де електричні опори (провідники) наповнювача R_n і прошарку матриці, поперечному напрямку протікання струму R_m^n з'єднані послідовно, а електричний опір прошарку матриці, подовжнього напрямку протікання струму $R_m^{пд}$ – паралельно двом першим (R_n і R_m^n).

Згідно схемі рис. 3.6, в, з електропровідність $1/R_k$ (величина, зворотна електричному опору R_k) умовної елементарної комірки композиту складе:

$$\frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_n + R_m^n} + \frac{1}{R_m^{пд}}, \quad (3.5)$$

де R_n – електричний опір частинки наповнювача, Ом; R_m^n , $R_m^{пд}$ – електричний опір прошарків матриці, відповідно, поперечного і подовжнього напрямку електричного струму, Ом:

$$R_n = \frac{\rho_n L_n}{S_n} = \frac{\rho_n d\sqrt[3]{\pi/6}}{(d\sqrt[3]{\pi/6})^2} = \frac{\rho_n}{d\sqrt[3]{\pi/6}} = \frac{\rho_n}{0,806d}, \text{ Ом;} \quad (3.6)$$

$$R_m^n = \frac{\rho_m L_m^n}{S_m^n} = \frac{\rho_m [(d + \delta) - d\sqrt[3]{\pi/6}]}{(d\sqrt[3]{\pi/6})^2} = \frac{\rho_m [d(1 - \sqrt[3]{\pi/6}) + \delta]}{(d\sqrt[3]{\pi/6})^2} = \frac{\rho_m (0,194d + \delta)}{0,649d^2}, \text{ Ом;} \quad (3.7)$$

$$R_M^{\text{пд}} = \frac{\rho_M L_M^{\text{пд}}}{S_M^{\text{пд}}} = \frac{\rho_M (d + \delta)}{(d + \delta)^2 - (d^3 \sqrt{\pi/6})^2} = \frac{\rho_M (d + \delta)}{0,351d^2 + 2d\delta + \delta^2}, \text{ Ом}, \quad (3.8)$$

де L_H – довжина частинки наповнювача, що дорівнює довжині ребра куба a , м;

$$L_H = a = d^3 \sqrt{\pi/6}, \text{ м}, \quad (3.9)$$

$L_M^{\text{п}} –$ розмір прошарку матриці, поперечного напрямку протікання струму, що дорівнює його товщині δ , м;

$$L_M^{\text{п}} = (d + \delta) - a = d + \delta - d^3 \sqrt{\pi/6} = d(1 - \sqrt[3]{\pi/6}) + \delta, \text{ м}, \quad (3.10)$$

$L_M^{\text{пд}} –$ розмір прошарку матриці, подовжнього напрямку протікання струму, що дорівнює $(d + \delta)$, м; $S_H –$ площа перерізу частинки наповнювача, м²;

$S_M^{\text{п}}, S_M^{\text{пд}} –$ площа перерізу прошарків матриці, відповідно, поперечного і подовжнього напрямку електричного струму, м²:

$$S_H = S_M^{\text{п}} = a^2 = (d^3 \sqrt{\pi/6})^2, \text{ м}^2;$$

$$S_M^{\text{пд}} = S - S_H = (d + \delta)^2 - d^2 \sqrt[3]{(\pi/6)^2}, \text{ м}^2. \quad (3.11)$$

Підставивши (3.3, 3.6, 3.7, 3.8) у (3.5), отримаємо рівняння для визначення питомої електропровідності композиції $1/\rho_k$ – величини, зворотної її питомому електричному опору ρ_k :

$$\frac{d + \delta}{\rho_k} = \frac{1}{R_H + R_M^{\text{п}}} + \frac{1}{R_M^{\text{пд}}};$$

$$\frac{1}{\rho_k} = \frac{1}{d + \delta} \left(\frac{1}{R_H + R_M^{\text{п}}} + \frac{1}{R_M^{\text{пд}}} \right), \frac{\text{См}}{\text{м}}. \quad (3.12)$$

Як бачимо, питома електропровідність композиції $1/\rho_k$ та, отже, і її питомий електричний опір ρ_k залежать від питомого електричного опору наповнювача ρ_H і матриці ρ_M і таких характеристик структури композиції, як d , δ та їх співвідношення δ/d . Дослідимо вплив складу композиції на ці характеристики структури.

За аналогією з [165, 166] застосуємо для цього структурну характеристику композиційного матеріалу – коефіцієнт розсунення наповнювача матри-

цею η . Використовуючи підхід за [167], отримаємо формулу для коефіцієнту розсунення η . Уявимо, що представлена на рис. 3.6, *a* просторова модель композиційного матеріалу утворена розсунутими матрицею відносно вихідного стану частинками наповнювача у вигляді куль. У вихідному стані розташування куль контактне, а їх упаковка – проста кубічна (рис. 3.7, *a*). Із щільних упаковок куль найменш щільною є саме проста кубічна [168], проте саме їй за думкою багатьох дослідників [143; 169] у найбільшому ступені відповідає структура бетонів і аналогічних композиційних матеріалів. У розсуненому стані порядок взаємного розташування куль зберігається.

Як вже було припущено, простішим регулярним елементом такої упаковки, що відповідає умовній просторовій елементарній комірці структури, є куб зі вписаною в нього кулею (рис. 3.7, *б*). Сторона кубу дорівнює діаметру кулі. Об'єм пустот $V_{\text{п}}$ в цьому випадку дорівнюватиме різниці між об'ємом кубу та об'ємом кулі:

$$V_{\text{п}} = d^3 - \frac{\pi d^3}{6} = (1 - \pi/6)d^3. \quad (3.13)$$

Пустотність цієї упаковки частинок наповнювача – куль складає:

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{(1 - \pi/6)d^3}{d^3} = 1 - \frac{\pi}{6} = 0,4764. \quad (3.14)$$

У разі контактного розташування куль об'єм матриці дорівнює об'єму пустот. У разі розсунення куль матрицею між ними утворюється прошарок товщиною δ (рис. 3.7, *в*) і об'єм матриці складатиметься із об'єму пустот між кулями діаметром $(d+\delta)$ і різниці об'ємів куль з діаметрами $(d+\delta)$ і d :

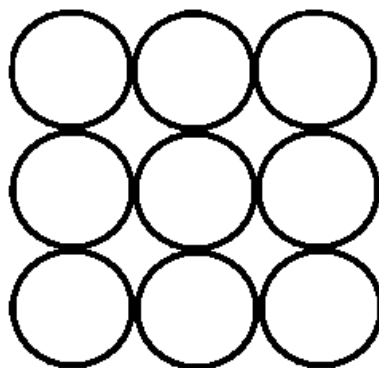
$$V_{\text{м}} = \left(1 - \frac{\pi}{6}\right)(d + \delta)^3 + \left[\frac{\pi}{6}(d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3\right] = (d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3. \quad (3.15)$$

Коефіцієнт розсунення частинок наповнювача матрицею η є відношенням об'єму матриці $V_{\text{м}}$ до об'єму пустот $V_{\text{п}}$ між частинками наповнювача у вихідному стані – з їх контактним розташуванням без розсунення:

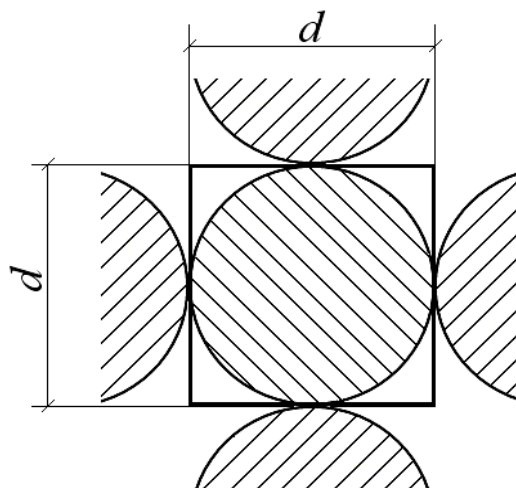
$$\eta = \frac{V_M}{V_H} = \frac{(d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3}{(1 - \pi/6)d^3} = 2,10 \left(1 + \frac{\delta}{d}\right)^3 - 1,10. \quad (3.16)$$

Отримане рівняння відповідає аналогічній формулі у [166].

a)



б)



в)

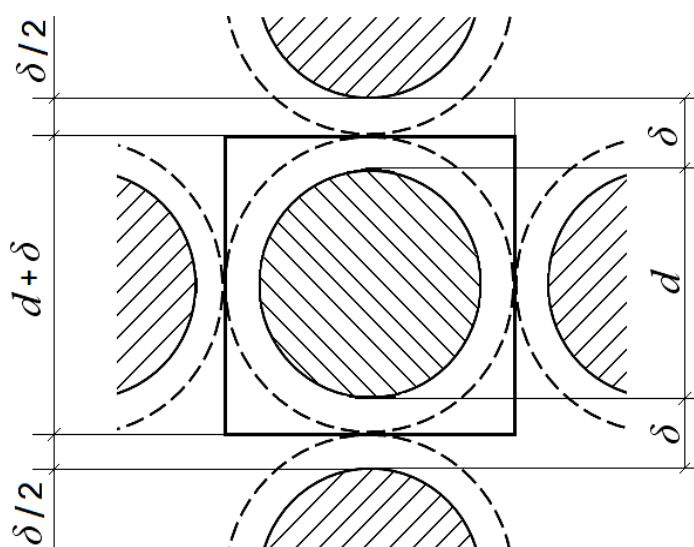


Рис. 3.7 Схема умовної елементарної комірки структури композиційного матеріалу, що відповідає простій кубічній упаковці куль: a – проста кубічна упаковка куль однакового діаметру; b – елементарна комірка з контактним розташуванням структуроутворюючих елементів; v – елементарна комірка з розсуненням структуроутворюючих елементів матрицею

У разі утворення більш щільних упаковок на кожну кулю припадає менше загального об'єму системи, ніж у разі простої кубічної упаковки. Нехай частка цього об'єму від об'єму куба дорівнюватиме k . У цьому випадку об'єм пустот V_v і пустотність Π_n дорівнюватимуть:

$$V_v = kd^3 - \frac{\pi d^3}{6} = (k - \pi/6)d^3. \quad (3.17)$$

$$\Pi_n = \frac{(k - \pi/6)d^3}{kd^3} = 1 - \frac{\pi}{6k}. \quad (3.18)$$

Величину k можливо виразити через пустотність упаковки, перетворивши (18):

$$k = \frac{\pi}{6 \cdot (1 - \Pi_n)}. \quad (3.19)$$

У разі розсунення частинок на відстань δ об'єм матриці та коефіцієнт розсунення дорівнюватимуть, відповідно:

$$V_m = \left(k - \frac{\pi}{6}\right)(d + \delta)^3 + \left[\frac{\pi}{6}(d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3\right] = k(d + \delta)^3 - \frac{\pi}{6}d^3. \quad (3.20)$$

$$\eta = \frac{k(d + \delta)^3 - \pi/6}{(1 - \pi/6)d^3} = \frac{k}{k - \pi/6} \left(1 + \frac{\delta}{d}\right)^3 - \frac{\pi/6}{k - \pi/6}. \quad (3.21)$$

Підставивши (19) у (21), отримаємо:

$$\eta = \frac{1}{\Pi_n} \left(1 + \frac{\delta}{d}\right)^3 - \frac{1}{\Pi_n} + 1. \quad (3.22)$$

Залежність δ від d , Π_n та η для композицій на основі портландцементу отримаємо, відповідним чином перетворивши (22):

$$\delta = d[\sqrt[3]{\Pi_n(\eta - 1) + 1} - 1], \text{ м}; \quad (3.23)$$

$$\eta = \frac{V_M}{V_n} = \frac{\frac{П}{Ц} \cdot \frac{1}{\rho_n} + \frac{1}{\rho_{ц}} + \frac{В}{Ц} \cdot \frac{1}{\rho_B}}{\frac{Н}{Ц} \cdot \frac{\Pi_n}{\rho_n^c}}, \quad (3.24)$$

де П, Ц, В, Н – витрата на 1 м³ композиції, відповідно, піску, цементу, води, наповнювача, кг; $\Pi_n = 1 - \rho_n^c / \rho_n$ – пустотність упаковки частинок наповнювача в ущільненому стані (аналог пустотності заповнювачів бетону); $\rho_n, \rho_{ц}, \rho_B, \rho_n$ – істинна густина, відповідно, піску, цементу, води, наповнювача, кг/м³; ρ_n^c – середня густина наповнювача в ущільненому стані (аналог насипної густини заповнювачів бетону), кг/м³; П/Ц, В/Ц, Н/Ц – кількісне співвідношення за масою відповідних компонентів композиції.

Такими чином, алгоритм оцінки питомого електричного опору композиційного матеріалу за даними про питомий електричний опір наповнювача та матриці і складом композиції з дослідницькими або технологічними цілями набуває такого виду:

1) за даними про склад та фізичні властивості компонентів композиційного матеріалу за формулою (3.24) або аналогічними визначають коефіцієнт розсунення частинок наповнювача матрицею η ;

2) за формулою (3.23) визначають товщину прошарку матриці між частинками наповнювача δ ;

3) за даними про питомий електричний опір наповнювача ρ_n та матриці ρ_m й середніми величинами розміру зерен наповнювача d і товщини прошарків матриці між ними δ за формулами (3.6, 3.7, 3.8, 3.12) визначають питому електропровідність i , як зворотну їй величину – питомий електричний опір композиційного матеріалу;

4) для композиційного матеріалу з багаторівневою структурою виконують розрахунок за попередніми пунктами, спочатку для більш дрібного рівня (наприклад, мікрорівня із цементного каменю і наповнювача), потім для наступного, використовуючи отриману величину питомого електричного опору за цими пп. як величину питомого електричного опору матриці наступного

більш крупного рівня (мезорівня з заповнювачем – піском) і т.д. (макрорівня з заповнювачем – щебенем).

За рівняннями (3.23, 3.12) для величин $\Pi_{\text{п}} = 0,65$, $d = 1 \times 10^{-4}$ м, $\rho_{\text{н}} = 0,8 \times 10^{-5}$ Ом \times м, $\rho_{\text{м}} = 50$ і 100 Ом \times 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 в діапазоні значень від 1 до 3. Ці залежності $\rho_{\text{к}}$ від η представлені на графіку рис. 3.8.

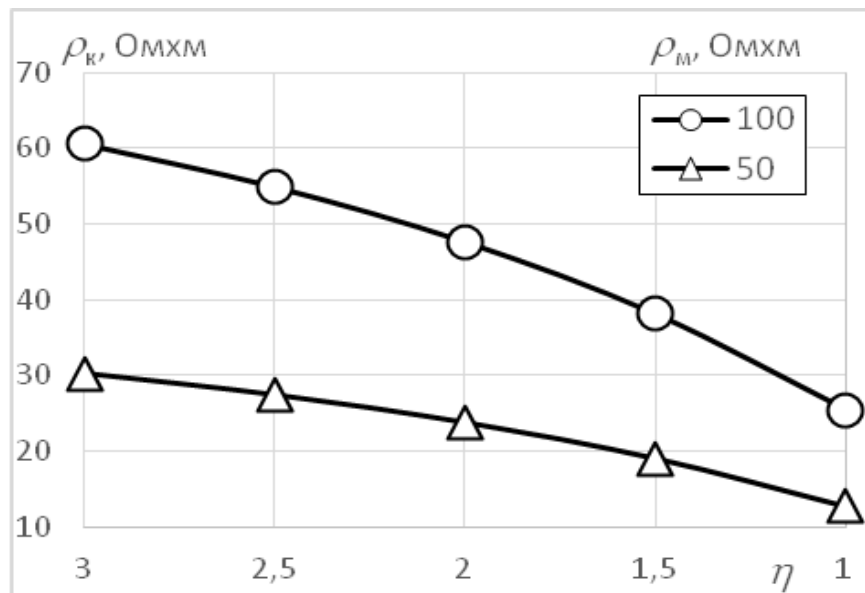


Рис. 3.8 Теоретична залежність питомого електричного опору ρ композиції на основі портландцементу з КХД і графітовим наповнювачем від коефіцієнту розсунення частинок графітового наповнювача η матрицею

Як видно із рис. 3.8, питомий електричний опір композиції з електропровідним наповнювачем з урахуванням розбивки вісі абсцис у зворотному порядку, залежить від коефіцієнту розсунення частинок наповнювача цементною матрицею прямо пропорційно.

Таким чином, розроблене рівняння, яке дозволяє прогнозувати питомий електричний опір композиції за величинами питомого електричного опору наповнювача та матриці та її складу (витрати компонентів).

3.4 Розробка методики експериментальних досліджень ефективності заземлених екранів із електропровідних композицій

Як видно із рис. 3.2, 3.3, 3.8, у дощову погоду струми витоку протікають крізь бетон, арматуру і заземлення платформи без захисту, а з екраном – крізь екран і заземлення, оминаючи бетон і арматуру (або мінімізуючись у них).

Розроблено оригінальну методику експериментального дослідження ефективності заземлених екранів із електропровідних композицій для захисту споруд від електрокорозії. Методика полягає у порівнянні величини електричного 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} :

$$\Delta I = (I_{a61} - I_{a60}) / I_{a60} \times 100 \%. \quad (3.25)$$

Моделі споруди розробили на основі аналізу протікання через конструкції пасажирських платформ струмів витоку з рейкової колії на ділянках з позитивним потенціалом на рейках без захисту (рис. 3.2, 3.3) та із заземленими екранами – покриттями (рис. 3.5).

Дослідження здійснювали за допомогою оригінальної експериментальної установки (рис. 3.9, 3.10). Установка складається із моделі споруди – призми із важкого бетону з міцністю на стиск 20 МПа 1, у яку забетонований стрижень із арматурної сталі з випуском уверх 2. Бетон моделі відповідає бетону споруди між її гранями (рис. 3.3) або бетону захисного шару між заземленою арматурою і гранню споруди (рис. 3.2). Цю модель – призму встановлювали у модель зволоженого ґрунту – дуже дрібний пісок 4, засипаний у металеву ємкість 3. Струм, який натікає на споруду від джерел постійного струму, наприклад, електрифікованої рейкової колії, створювали (моделювали) прикладанням різниці потенціалів 40 В між ємкістю 3 та арматурним стрижнем 2 у призмі 1, а його силу визначали за допомогою увімкнутих у ланцюг амперметрів (цифрових мультиметрів Sanwa PC510) 8 і 9.

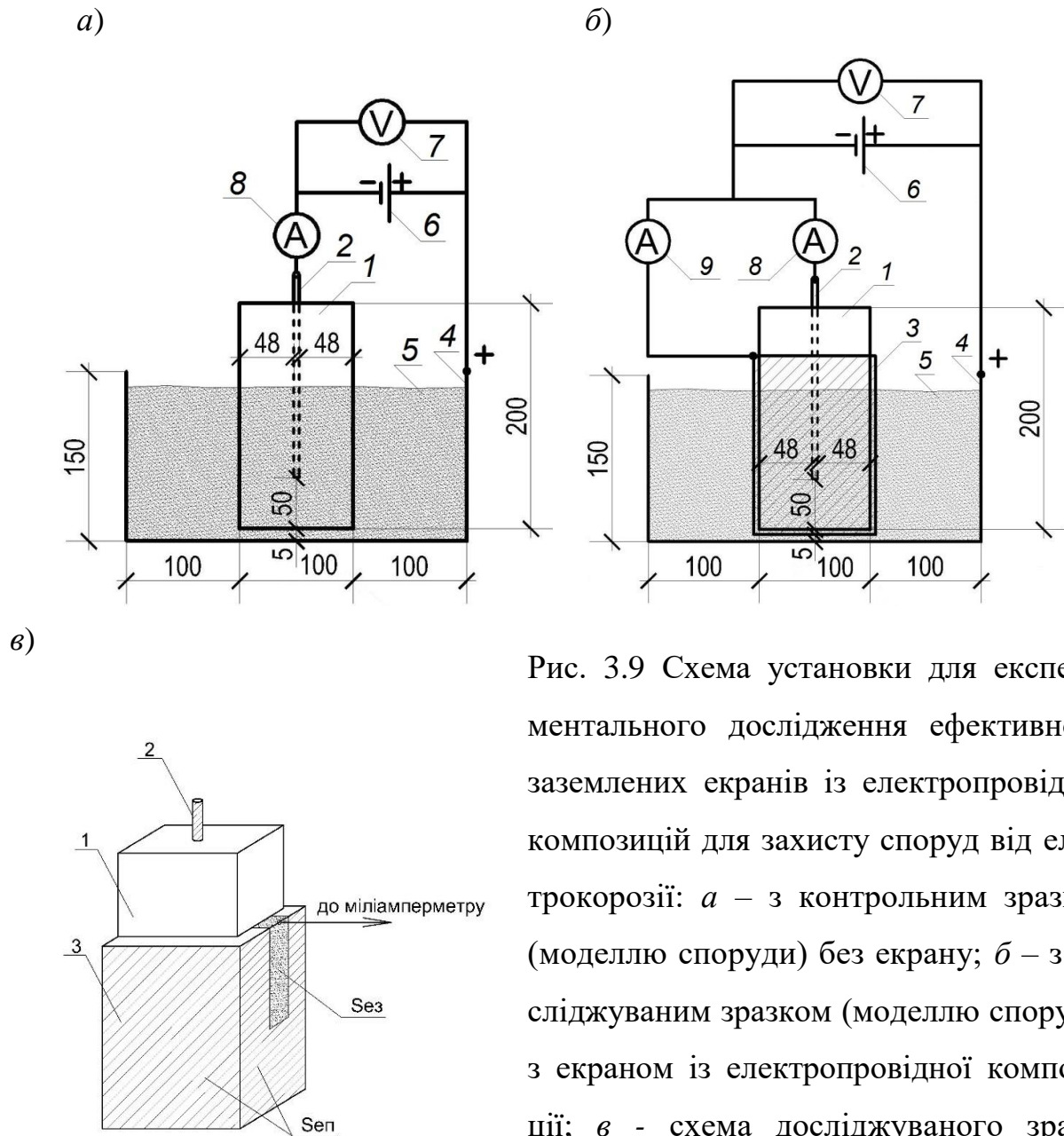


Рис. 3.9 Схема установки для експериментального дослідження ефективності заземлених екранів із електропровідних композицій для захисту споруд від електрокорозії: *a* – з контрольним зразком (моделлю споруди) без екрану; *б* – з досліджуваним зразком (моделлю споруди) з екраном із електропровідної композиції; *в* – схема досліджуваного зразка (моделі споруди) з екраном із електропровідної композиції;

1 – бетон моделі; 2 – арматурний стержень моделі; 3 – захисний екран (покриття); 4 – металева ємкість; 5 – зволожений пісок; 6 – джерело струму; 7 – вольтметр; 8 – міліамперметр для вимірювання сили струму крізь арматуру і бетон $I_{аб}$; 9 – міліамперметр для вимірювання сили струму крізь захисний екран і ґрунт $I_{зе}$

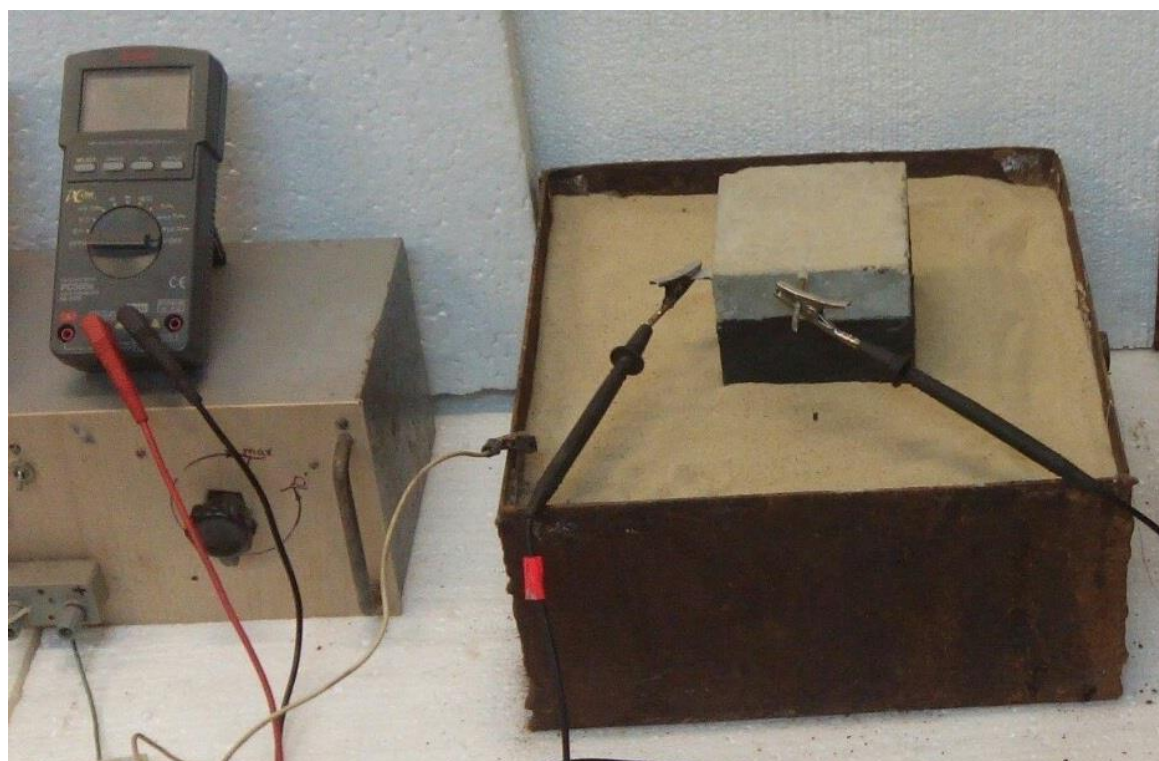
a)*б)*

Рис. 3.10 Установка для експериментального дослідження дії екранів із електропровідних композицій для захисту споруд від електрокорозії: *a* – загальний вигляд установок з моделями; *б* – підключення електричних провідників до моделі

Відсоток площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном-покриттям x , який змінювали під час дослідження, визначали як відношення площі контакту сталевого електроду з екраном-покриттям $S_{\text{ез}}$ до площі всього екрану – покриття $S_{\text{еп}}$:

$$x = S_{\text{ез}}/S_{\text{еп}} \times 100 \%. \quad (3.26)$$

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 $I_{\text{аб}}$, сили струму крізь захисний екран $I_{\text{зе}}$ та величини зниження сили струму через бетон і арматуру моделі із захистом порівняно з моделлю без захисту ΔI від часу t .

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3

1. Виконано аналіз протікання струмів витоку через інженерні споруди, розташовані поруч з електрифікованими постійним струмом залізничними коліями, зокрема, високі пасажирські платформи. Встановлено, що у місцях позитивного потенціалу на рейках струм з них стікає через вологі баласт і ґрунт на конструкції платформ і далі через захисний шар бетону на арматуру, з неї через заземлення знову у ґрунт або крізь обводнений бетон далі по місцевості до місць з підвищеним негативним потенціалом (водоймищ тощо). В обох випадках електричний струм забезпечується: у ґрунті та бетоні – рухом катіонів Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , аніонів OH^- , в арматурі та заземленні – електронів. Протікання такого струму крізь захисний шар обумовлює прискорення карбонізації бетону з поверхні, а в приарматурній зоні – вилуговування, зниження рН, втрату захисних властивостей відносно арматури та її швидку корозію, а крізь масивну конструкцію – вилуговування бетону зі зниженням його міцності, інтенсифікацією морозного руйнування тощо, при цьому більш інтенсивно – з боку, протилежного рейковій колії.

2. Виконувані для відновлення несучої здатності пошкоджених інженерних споруд, у т.ч. високих пасажирських платформ, металоін'єкційні сорочки та обойми у разі їх заземлення здатні виконувати функції екранів, що відводять струми витоку від інших конструкцій споруди (або істотно зменшують їх). Проте металоін'єкційні сорочки та обойми, отже, екрани, є достатньо коштовними і їх доцільно застосовувати за необхідності відновлення несучої здатності конструкцій. У разі потреби, лише у їх захисті або дрібному ремонті невеликих поверхневих пошкоджень, заземлені екрани доцільно виконувати із електропровідних силікатних композицій, які значно дешевші металоін'єкційних аналогів. Екрани забезпечать відведення струмів витоку від споруди або істотне зниження їх величин.

3. В результаті виконаних теоретичних досліджень отримано залежності для визначення питомого електричного опору і питомої електропровідності композиційного матеріалу за даними про його склад та питомий електричний опір наповнювача та матриці.

4. Розроблено алгоритм визначення питомого електричного опору композиційного матеріалу за даними про питомий електричний опір наповнювача та матриці і складом композиції з дослідницькими або технологічними цілями.

5. Розроблено методику експериментального дослідження ефективності екранів із електропровідних композицій для захисту споруд від електрокорозії, що полягає у порівнянні величини електричного струму, який протікає крізь арматуру і бетон $I_{аб}$ моделі споруди без захисного екрану і моделі споруди із захисним екраном.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ

4.1 Пошукові експериментальні дослідження з розробки складів електропровідних композицій

Були виконані пошукові експериментальні дослідження з розробки складів електропровідних композицій. Із застосуванням у модельних системах як матриці розчинів сульфату міді (мідного купоросу), сульфату нікелю, силікату натрію було досліджено залежності їх електрофізичних та інших характеристик від виду та вмісту електропровідних наповнювачів Н/СН – порошків алюмінію *Al*, заліза *Fe*, міді *Cu*, цинку *Zn*, графіту *C*. Для порівняння обрали наявний на ринку електропровідний лак на основі графіту Graphit 33.

4.1.1 Опрацювання методики дослідження з вибору електропровідного наповнювача

Для опрацювання методики досліджень було обрано модельні системи з наповнювачами – графітовим порошком марки ГС-1 і порошком алюмінію та матрицею – розчинами сульфату міді (мідного купоросу), сульфату нікелю (рис. 4.1, *a*), силікату натрію. Для порівняння обрали наявний на ринку електропровідний лак Graphit 33.

Склад №1, г:

- графіт марки ГС-1 – 26,5;
- сульфат міді – 20,7;
- вода дистильована – 100.

Склад №2, г:

- графіт марки ГС-1 – 14,2;
- сульфат нікелю – 4,021;
- вода дистильована – 10.

Склад №3, г:

- графіт марки ГС-1 – 15,2;
- розчин силікату натрію – 30,3.

Склад №4, г:

- порошок алюмінію – 1,92;
- розчин силікату натрію – 36.

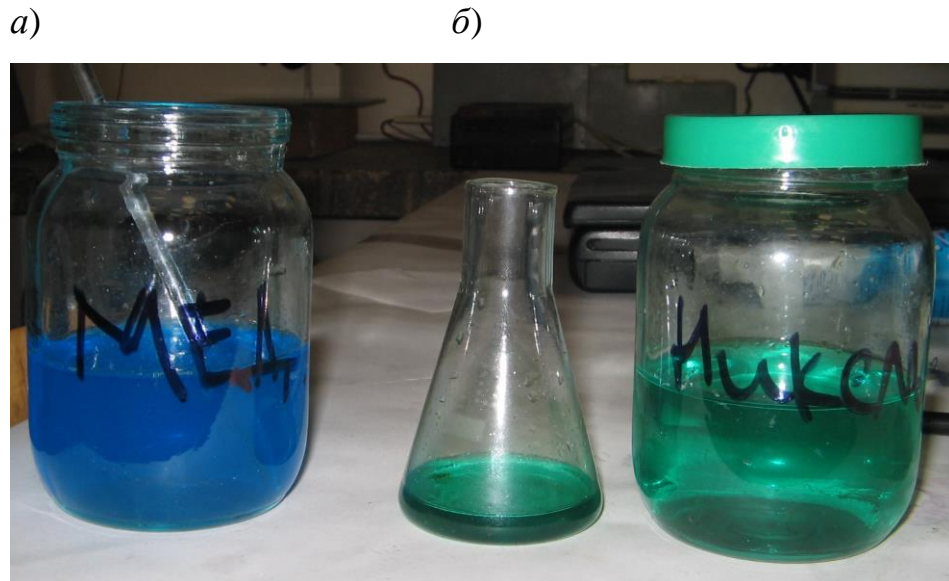


Рис. 4.1 розчини сульфатів міді (а) та нікелю (б)

Склади ретельно перемішували (у складах № 1 і 2 спочатку сіль у воді до повного розчинення) і наносили шаром товщиною близько 1 мм на діелектричні пластини розміром 160×40 мм (рис. 4.2). Як контрольний склад № 5 застосовували електропровідний лак на основі графіту Graphit 33, який наносили у 2 шари товщиною 0,3 мм кожний (рис. 4.2, з).

Після нанесення покриття витримували у кімнатних умовах до повного висихання (затвердіння). Після висихання покрить за допомогою накладних сталевих електродів і цифрового мультиметра вимірювали їх електричний опір у кОм (рис. 4.2). Електричний опір вимірювали за двома положеннями накладних електродів: по краям зразка покриття (рис. 4.2, а) і зближеними до відстані 10 мм між собою (рис. 4.2, б).

Отримані величини електричного опору наведені у табл. 4.1.

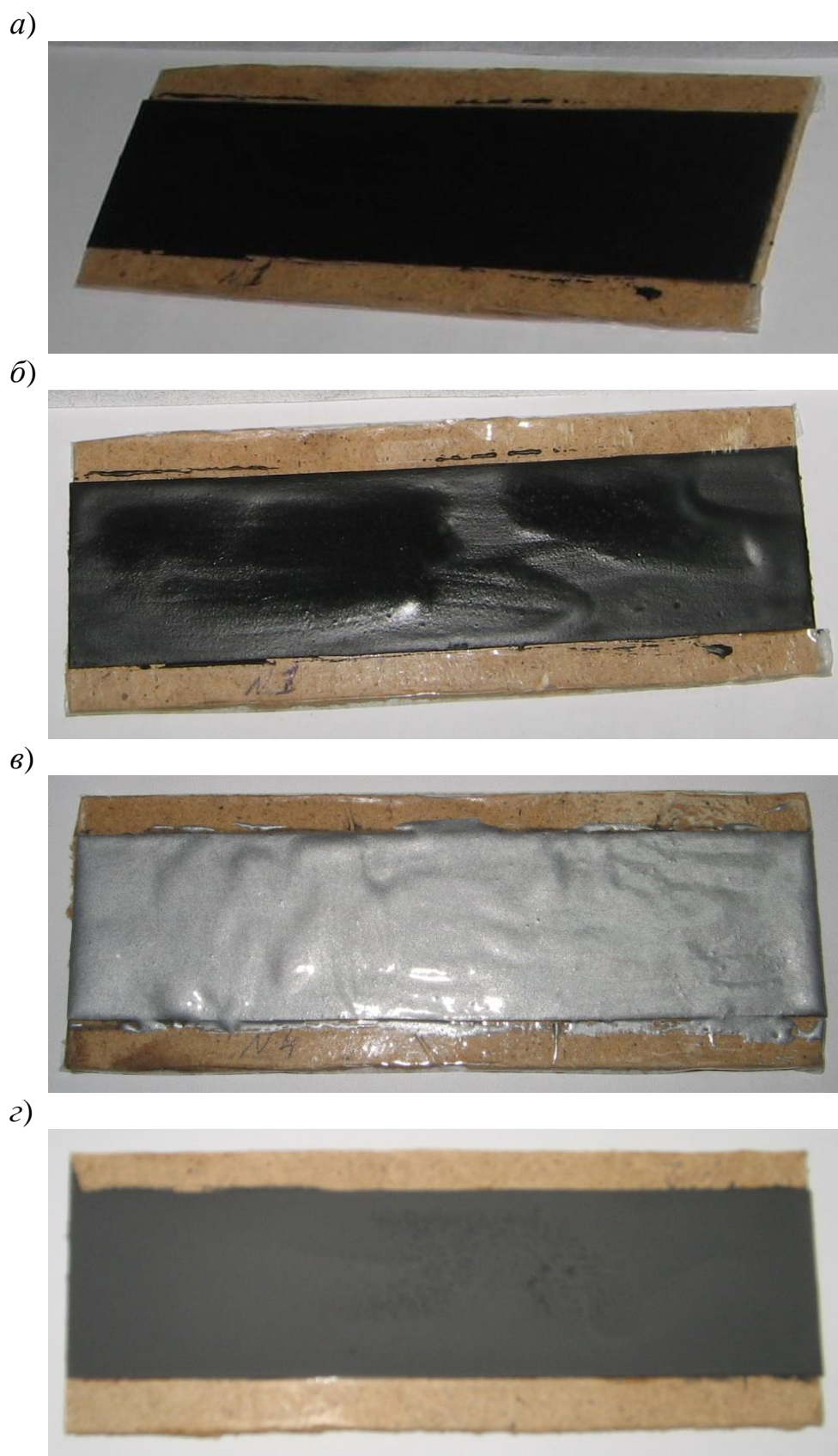


Рис. 4.2 Зразки покриттів електропровідними композиціями пластин із діелектриків: а – склад № 1 (графіт + сульфат міді); б – склад № 3 (графіт + силікат на-

трію); *в* – склад № 4 (алюміній + силікакт натрію); *г* – контрольне покриття лаком Graphit 33

а)



б)

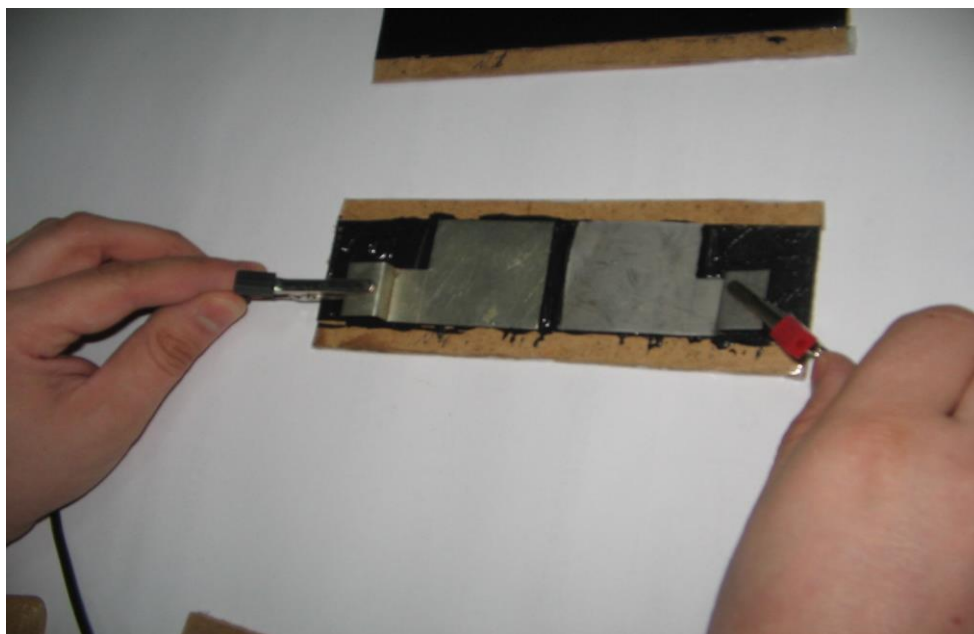


Рис. 4.3 Накладання вимірювальних електродів на зразок покриття:

а – по краях зразка покриття; *б* – у зближеному положенні

Таблиця 4.1

Електричний опір покриттів композиціями пластин із діелектриків

№	Склад	Електричний опір покриття, кОм, у разі розташування вимірювальних електродів:	
		по краях зразка покриття	у зближеному положенні
1	Графіт + Сульфат міді	4000	3000
2	Графіт + Сульфат нікелю	3200	1200
3	Графіт + Силікат натрію	2,14	0,85
4	Алюміній + Силікат натрію	1400	1,3
5	Лак Graphit 33	2,34	0,80

Як видно із табл. 4.1, композиції з матрицею із сульфатів міді та нікелю та, у меншому ступені, наповнювачем – алюмінієвим порошком мають високий електричний опір. Це пояснюється у першому випадку висиханням матриці з кристалізацією солей і неможливістю здійснення іонної провідності у сухих умовах, а у другому випадку – можливим утворенням на поверхні частинок алюмінію щільних гідроксидних плівок, які створюють високий перехідний опір на границях розподілу фаз.

Найменшим електричним опором, а, отже, максимальною електропровідністю, характеризується композиція графіт – розчин силікату натрію. Її електричний опір наближаються до величини електричного опору електропровідного лаку Graphit 33, що пояснюється можливістю матриці утримувати певну кількість води і забезпечувати іонну провідність, а також відсутністю на поверхні часток графіту бідь-яких плівок, що створюють перехідний опір на границях розподілу фаз. Отже, для подальших пошукових досліджень обрано матрицю із силікату натрію, а наповнювачі – графітові та металеві порошки.

4.1.2 Пошукові дослідження з вибору електропровідного наповнювача

За методикою, опрацьованою у п. 4.1.1, проведено дослідження модельних систем композитів з матрицею із силікату натрію і електропровідними наповнювачами – порошками алюмінію *Al*, заліза *Fe*, міді *Cu*, цинку *Zn*, графіту *C* (марки ГС-1). Досліджено залежності електричного опору зразка композиції від виду та вмісту електропровідного наповнювача. Досліджуваними зразками було покриття композицією однієї довгої грані зразка-балочки 160×40×40 мм із цементно-піщаного розчину, а для графіту – діелектричної пластини розміром 160×40 мм (рис. 4.2). Склади серій зразків модельних систем з матрицею із силікату натрію і електропровідними наповнювачами наведені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Склади серій зразків модельних систем з матрицею із силікату натрію та електропровідними наповнювачами

№	Електропровідний наповнювач – порошкоподібний:	Вміст наповнювача, % від маси силікату натрію	Вміст наповнювача, %, який забезпечує найкращу технологічність
1	Алюміній <i>Al</i>	3–100	5
2	Залізо <i>Fe</i>	50–75	75
3	Мідь <i>Cu</i>	50–100	
4	Цинк <i>Zn</i>	50–125	
5	Графіт <i>C</i> (ГС-1)	10–75	50–60

Зовнішній вигляд зразків наведено на рис. 4.4, 4.5.

Вимірювання електричного опору проводили протягом 6 діб, оскільки на 7 добу у шарі всіх покриттів на діелектричній пластині відзначалось утворення усадкових тріщин та відшарування від пластин (рис. 4.5, б).

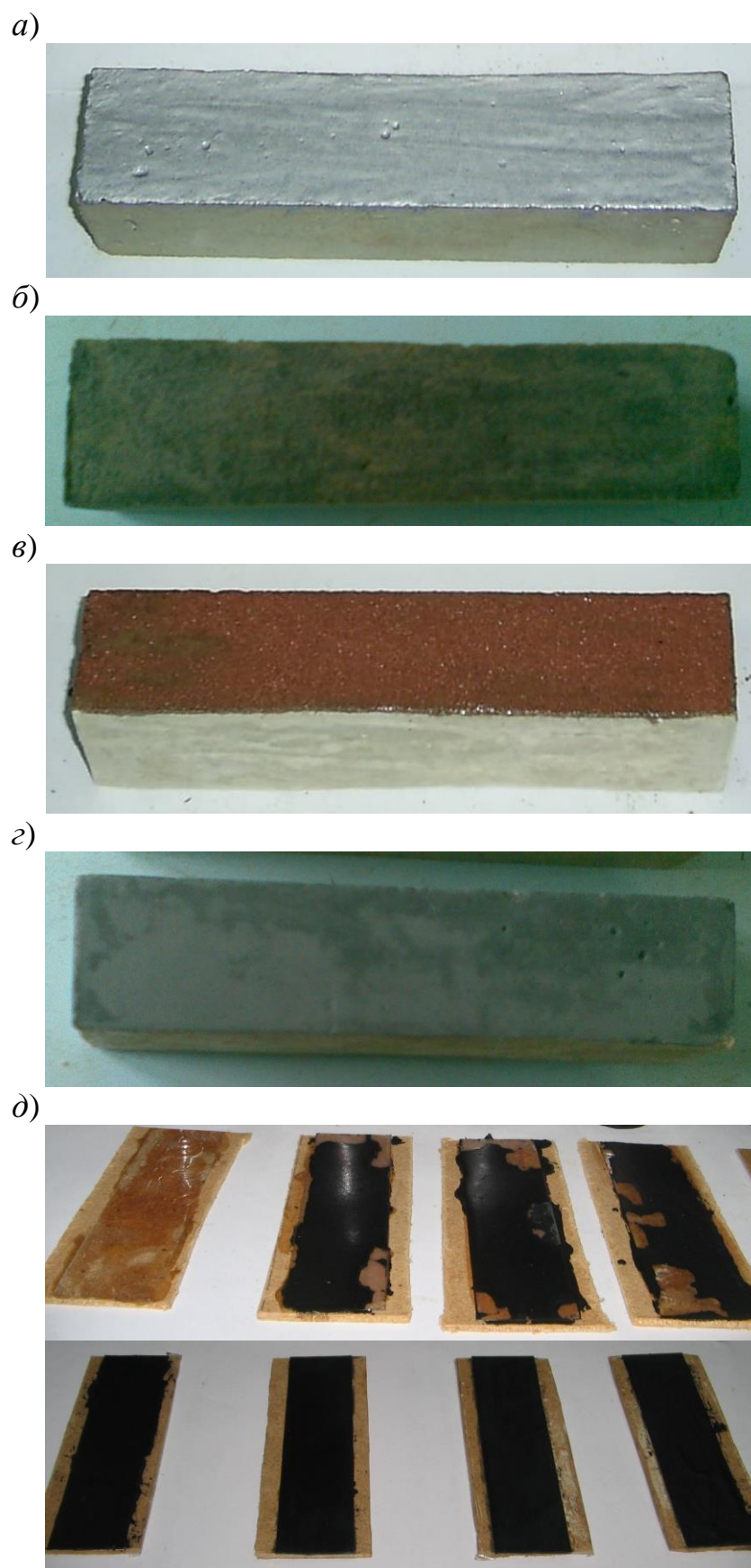
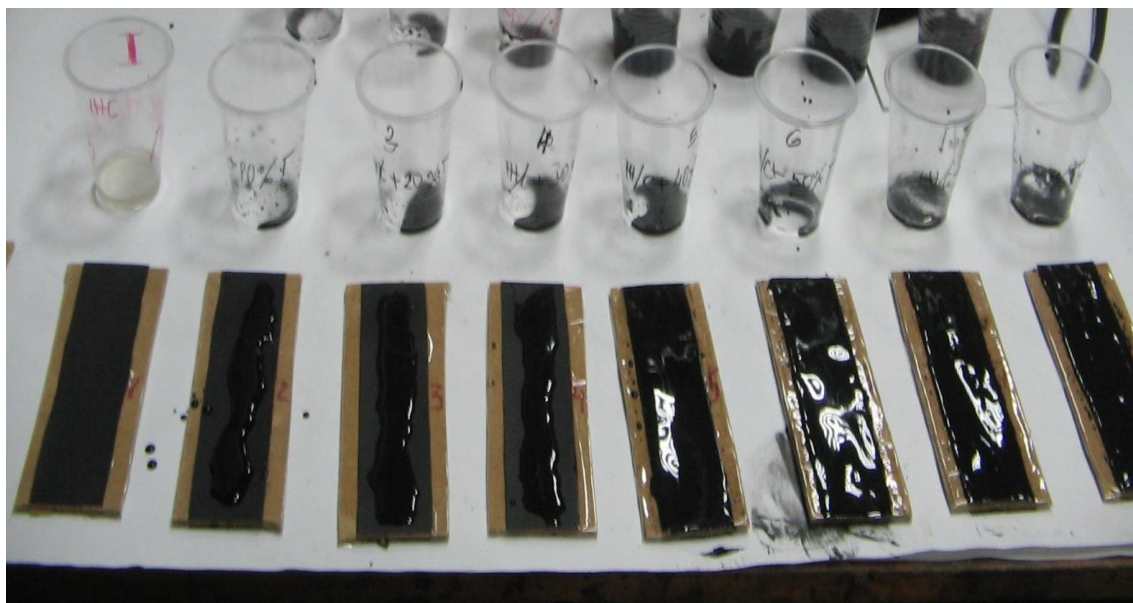


Рис. 4.4 Вигляд зразків покриттів композицією від вмісту електропровідних наповнювачів: *a* – алюмінію, *б* – заліза; *в* – міді; *г* – цинку; *д*) графіту в кількості від 10 до 75 % (зліва – направо)

a)



б)

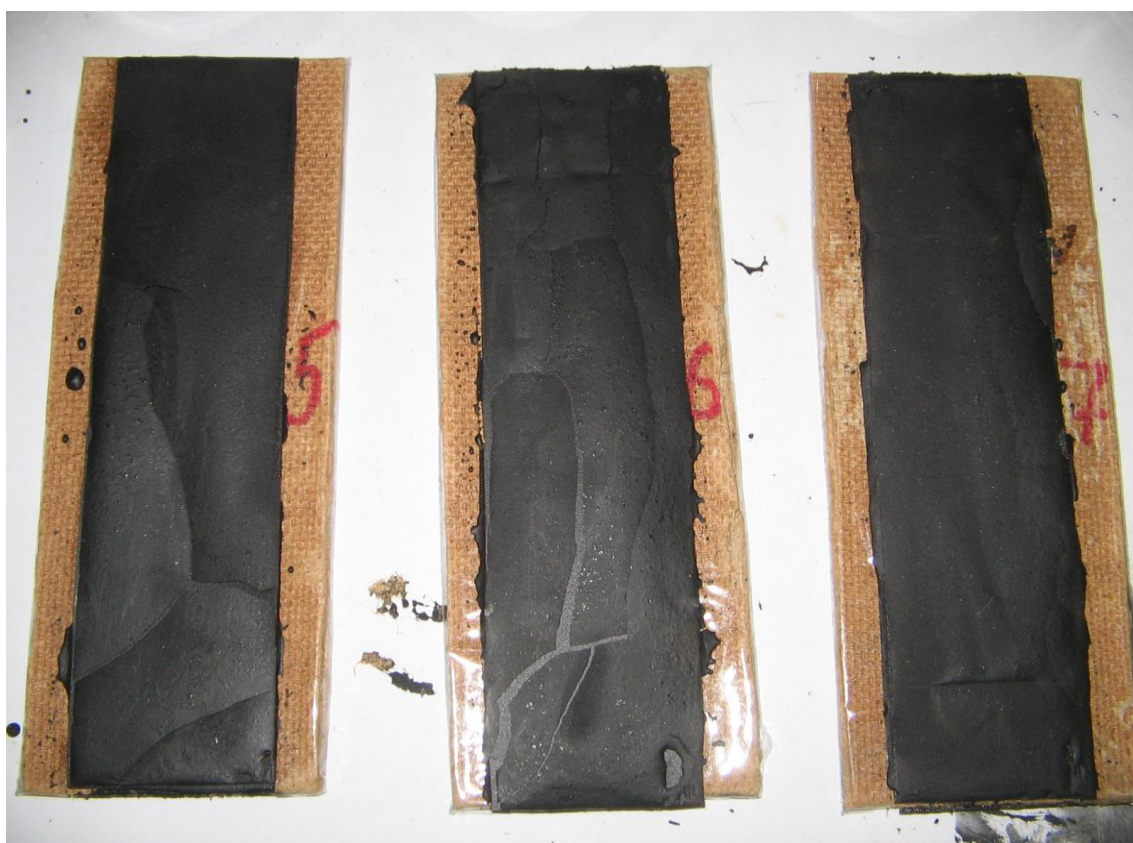


Рис. 4.5 Зразки модельних систем (покрить композицією діелектричних пластинок) одразу після виготовлення (а) і через 7 днів випробувань (б)

Таблиця 4.2

Залежність електричного опору та питомого електричного опору композицій від виду та вмісту електропровідного наповнювача

Електро- провідний наповню- вач	Вміст напов- нювача, % за масою від вмі- сту силікату натрію	Електричний опір зразка R , кОм, через термін твердіння, годин/дів								Питомий електричний опір зразка ρ , Ом \times м, через термін твердіння, годин							
		$\frac{1}{-}$	$\frac{24}{1}$	$\frac{48}{2}$	$\frac{72}{3}$	$\frac{96}{4}$	$\frac{120}{5}$	$\frac{144}{6}$	$\frac{162}{7}$	$\frac{1}{-}$	$\frac{24}{1}$	$\frac{48}{2}$	$\frac{72}{3}$	$\frac{96}{4}$	$\frac{120}{5}$	$\frac{144}{6}$	$\frac{162}{7}$
Алюміній	5		760	757	755	753	754	750	1301		3040	3028	3020	3012	3016	3000	5204
Залізо	75		230	300	370	510	640	780	800		920	1200	1480	2040	2560	3120	3200
Мідь	75		3400	460	580	660	740	840	1300		13600	1840	2320	2640	2960	3360	5200
	100		4820	3600	2410	1220	870	350	900		19280	14400	9640	4880	3480	1400	3600
Цинк	50		11300	10700	10200	9100	7900	6300	6700		45200	42800	40800	36400	31600	25200	26800
	75		6100	5500	500	4300	3400	3100	3700		24400	22000	2000	17200	13600	12400	14800
	100		1200	1230	1250	1100	1030	800	1300		4800	4920	5000	4400	4120	3200	5200
	125		480	510	530	563	540	550	235		1920	2040	2120	2252	2160	2200	940
Графіт	10	256	256							1024	1024						
	20	108	108							432	432						
	30	38	38							152	152						
	40	5,5	5,5							22	22						
	50	2,15	2,15							8,6	8,6						
	60	4,8	3,3							19,2	13,2						
	70	7,3	1,93							29,2	7,72						
	10		202	208	375	370	284	280,7			808	832	1500	1480	1136	1122,8	
	20		137	123	173	121,1	102,3	64,9			548	492	692	484,4	409,2	259,6	
	30		84	63	42,23	32	21,06	18,03			336	252	168,92	128	84,24	72,12	
	40		4,8	4,23	3,47	2,9	2,55	2,37			19,2	16,92	13,88	11,6	10,2	9,48	
	50		1,65	1,38	1,3	1,38	1,09	1,11			6,6	5,52	5,2	5,52	4,36	4,44	
	60		0,81	0,8	0,78	0,62	0,58	0,59			3,24	3,2	3,12	2,48	2,32	2,36	
	70		0,61	0,52	0,51	0,46	0,35	0,43			2,44	2,08	2,04	1,84	1,4	1,72	

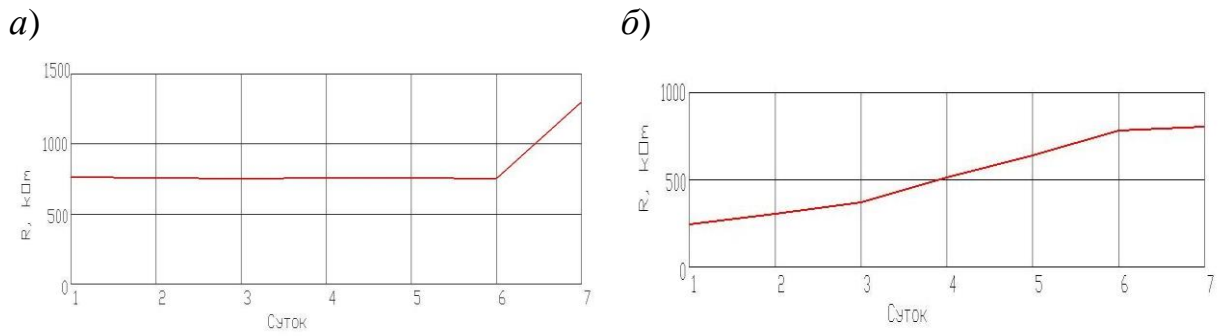


Рис. 4.6 Кінетика зміни електричного опору зразку композиції з наповнювачем: *a* – порошком алюмінію Al 5 %; *б* – порошком заліза Fe 75 %

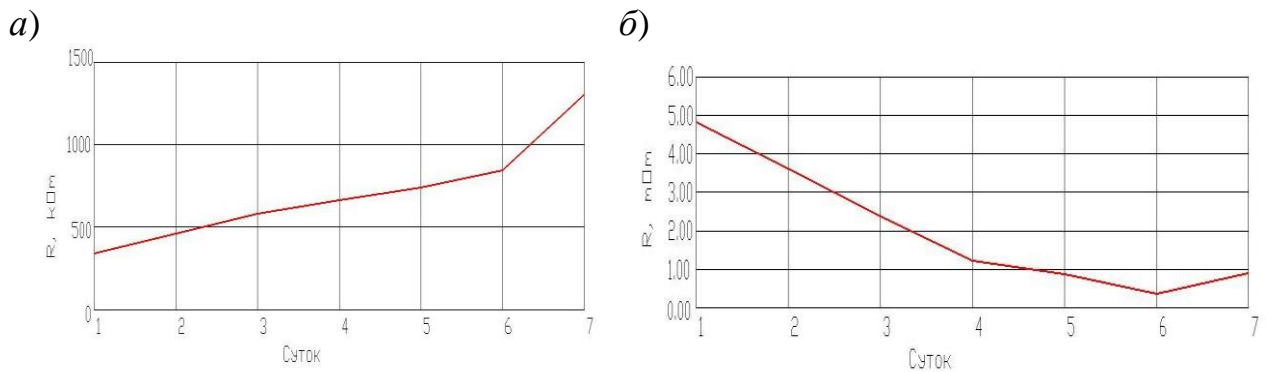


Рис. 4.7 Кінетика зміни електричного опору зразку композиції з наповнювачем – порошком міді Cu у кількості: *a* – 75 %; *б* – 100 %

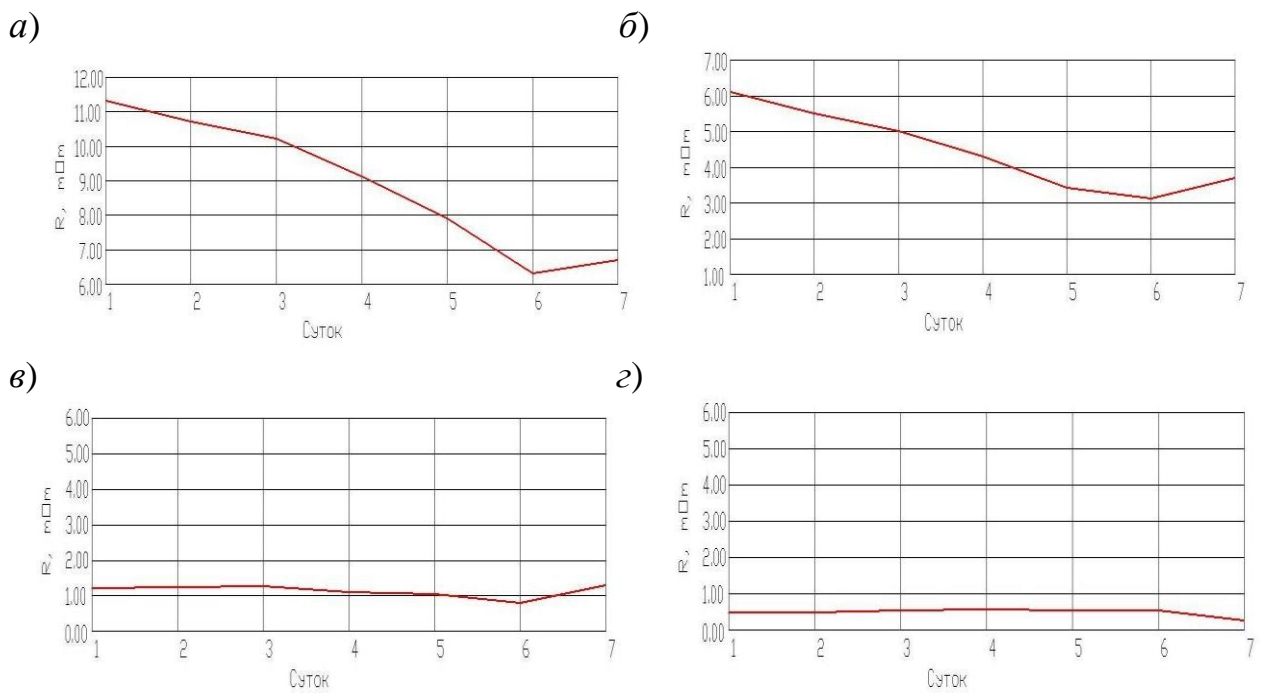
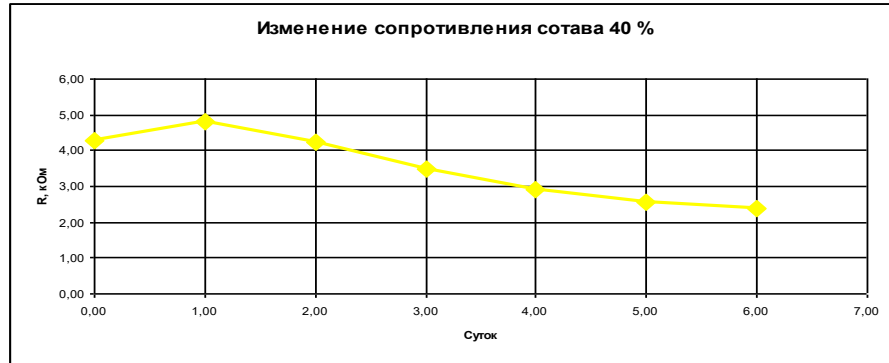
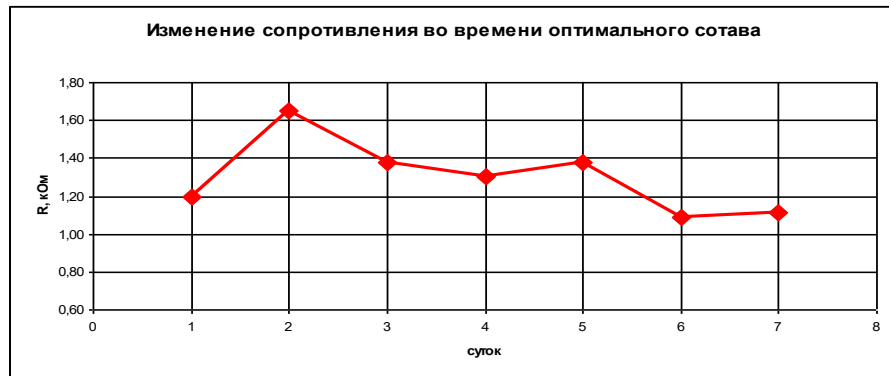


Рис. 4.8 Кінетика зміни електричного опору зразку композиції з наповнювачем – порошком цинку Zn у кількості: *a* – 50 %; *б* – 75 %; *в* – 100 %; *з* – 125 %

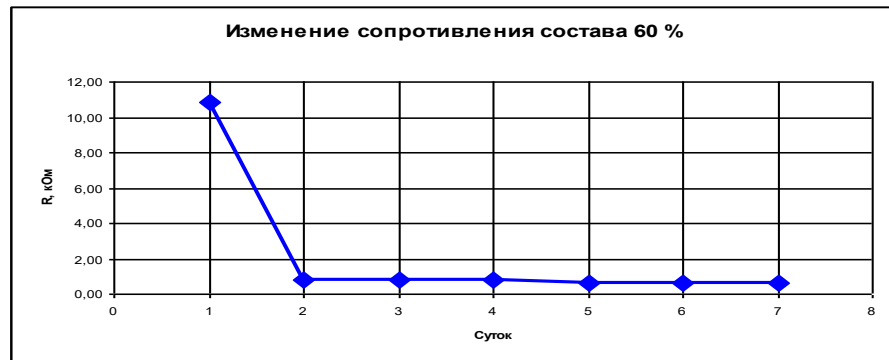
а)



б)



в)



г)

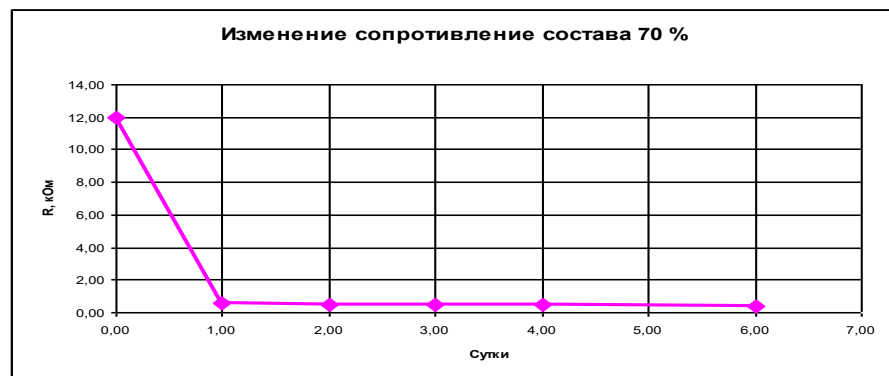
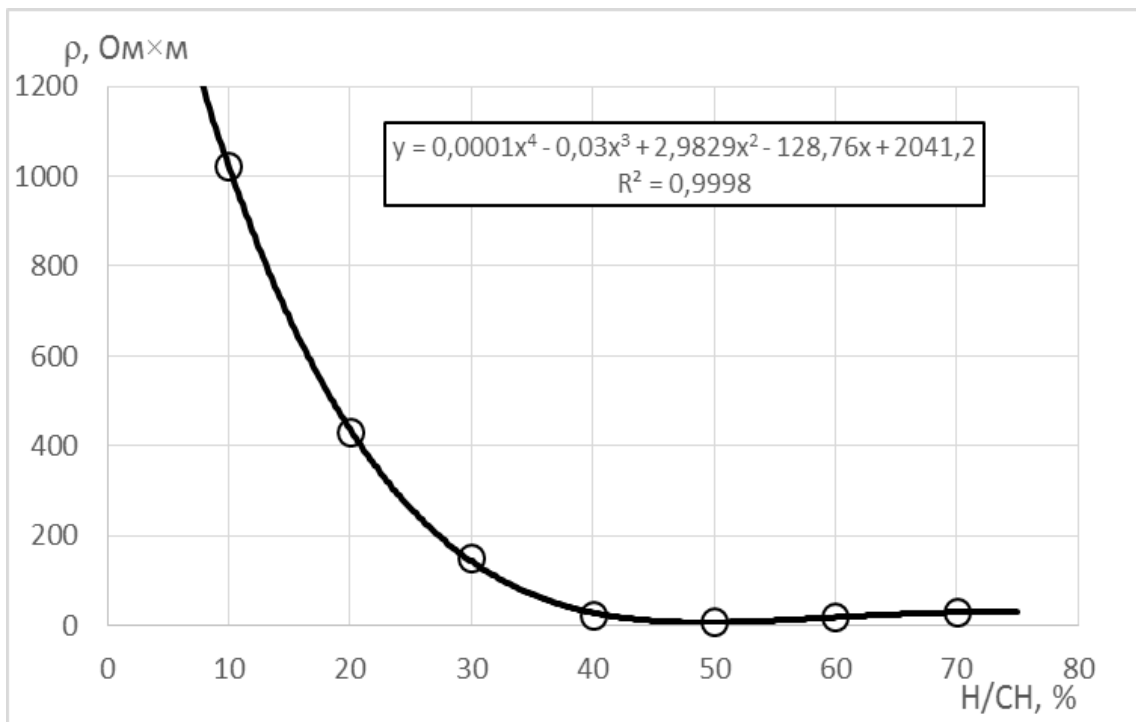


Рис. 4.9 Кінетика зміни електричного опору зразку композиції з наповнювачем – порошком графіту С у кількості:
 а – 40 %; б – 50 %; в – 60 %; г – 70 %

a)



б)

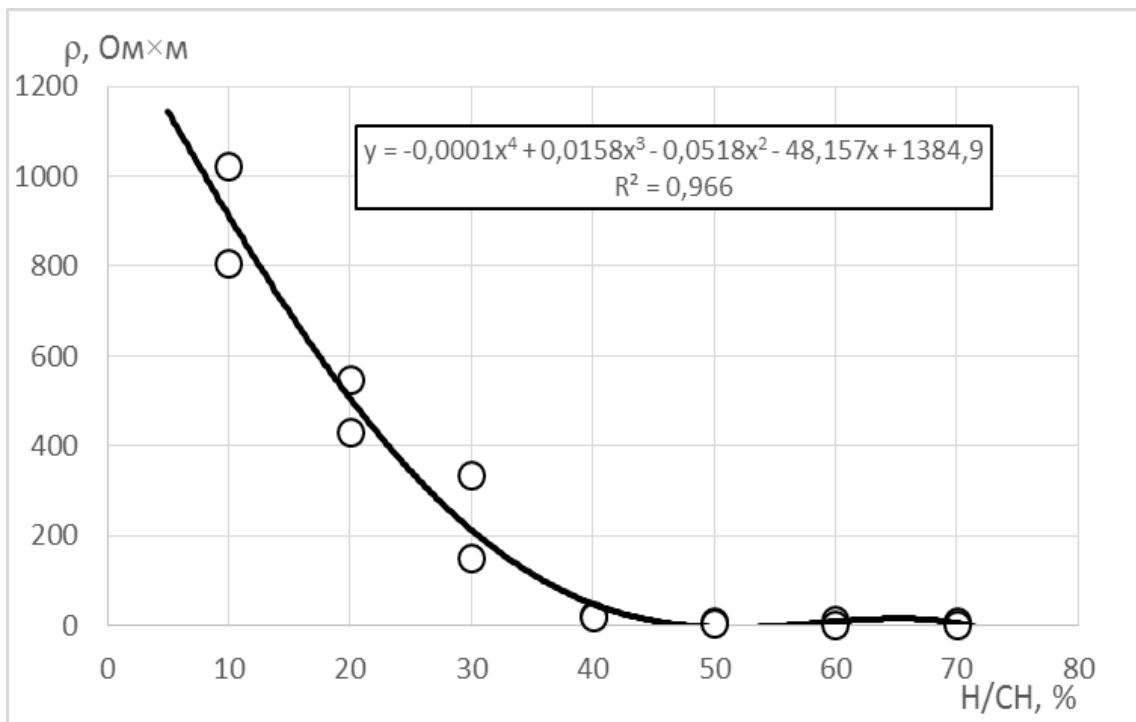


Рис. 4.10 Залежність питомого електричного опору композиції ρ від вмісту електропровідного наповнювача – графіту (відносно вмісту силікату натрію) H/CH через 1 годину (a) та через 1 добу (б) після нанесення

Результати дослідження наведені у табл. 4.2 і на рис. 4.6–4.10. Питомий електричний опір визначали з урахуванням коефіцієнту перерахунку кОм в Ом – 1000, ширини покриття $b = 0,04$ м, товщини покриття $h = 0,002$ м, відстані між центрами накладених електродів $L = 0,02$ м:

$$\rho = 1000Rbh/L = 1000R \times 0,04 \times 0,002 / 0,02 = 4R.$$

Із рис. 4.6–4.8 видно, що протягом 6 діб електричний опір композицій з електропровідними наповнювачами може як зростати, так і знижуватись. Так, електричний опір композиції з порошками алюмінію та заліза збільшується, що може свідчити про утворення на поверхні металевих частинок щільних гідроксидних плівок, які збільшують перехідний опір на границі розподілу та, відповідно, загальний опір.

Опір композиції з порошком міді в залежності від його вмісту як збільшується, так і знижується. Лише опір композиції з порошками цинку та графіту з часом знижується, що свідчить про відсутність вказаних плівок. Отже, придатними для створення електропровідної композицій можна вважати порошки цинку та, в найбільшому ступеню, графіту.

Більш докладно досліджено залежність питомого електричного опору композиції ρ від вмісту електропровідного наповнювача – графіту (відносно вмісту силікату натрію) Н/СН. Композиції з вмістом графіту до 40 % високо-рухливі. Під час нанесення на діелектричні пластини вони схильні до «стягування», внаслідок якого на пластинах залишаються ділянки без покриття (рис. 4.4, д, 4.10, а). Композиції з більшим вмістом графіту, особливо 60–70 %, технологічні та легкоукладальні.

На рис. 4.10 наведено залежність ρ від вмісту графіту Н/СН через 1 годину (а) та через 1 добу (б) після нанесення. Як бачимо і з рис. 4.10, залежності добре апроксимуються поліномами 4 ступеня, мінімальній величині питомого електричного опору відповідає вміст графітового наповнювача 50 % від маси силікату натрію.

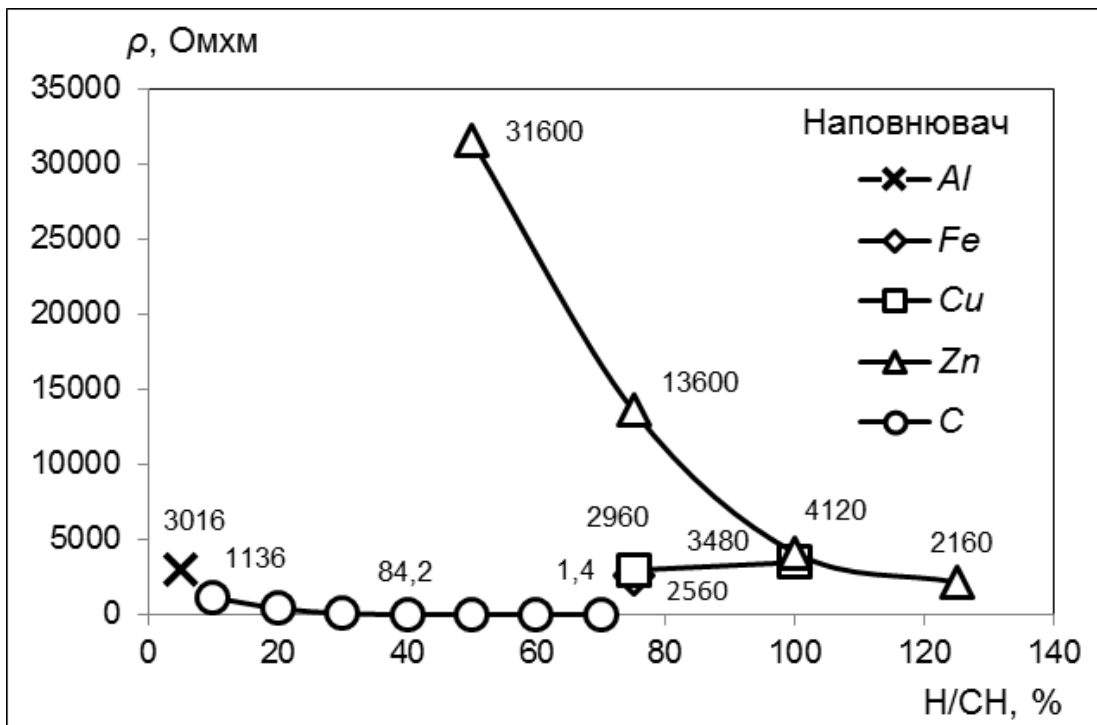
Отже, можна вважати, що для аналізованої системи за такого вмісту наповнювача спостерігається явище перколяції.

На рис. 4.11, *a* отримані для різних електропровідних наповнювачів експериментальні дані узагальнені на одному полі координат. Як бачимо із рис. 4.11, для всіх композитів спостерігається аналогічна залежність питомого електричного опору від вмісту наповнювачів. На рис.4.11, *б* наведено стовпчасту діаграму залежності мінімальних величин питомого електричного опору композицій ρ від виду наповнювача.

Мінімальні величини питомого електричного опору модельних систем склали: *Al* – 3016, *Fe* – 2560, *Cu* – 2960, *Zn* – 2160, *C* – 1,4 Ом×м (рис. 4.11, табл. 4.2). Отже, питомий електричний опір графітового наповнювача у сполученні з матрицею із мінерального в'язучого на три порядки нижчий, ніж у металевих наповнювачів. Це можливо пояснити утворенням на поверхнях металевих часток гідроксидних плівок, що створюють високий перехідний опір. Тому для подальших досліджень і розробки складів електропровідної композиції обрано графітові наповнювачі.

Як бачимо, композити з графітовим наповнювачем характеризуються на три порядки меншими величинами питомого електричного опору, отже, саме графітовий електропровідний наповнювач обрано для розробки електропровідних композитів для екранного захисту споруд від електрокорозії.

а)



б)

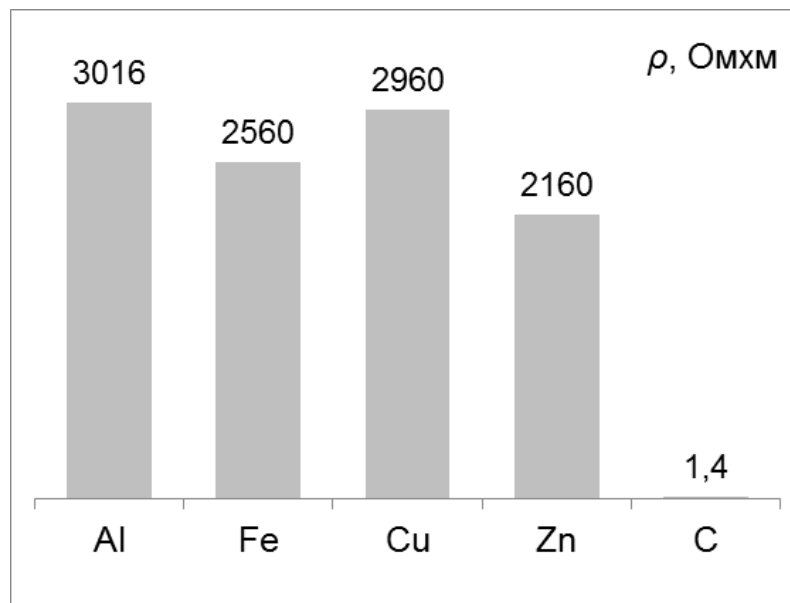


Рис. 4.11 Залежність питомого електричного опору ρ композицій від виду та вмісту електропровідного наповнювача H/CH (відносно вмісту силікату натрію) у вигляді графіків (а) та стовпчатої діаграми залежності мінімальних величин ρ від виду наповнювача

4.1.3 Мікроскопічні дослідження композитів з електропровідними наповнювачами

Модельні системи з матрицею із силікату натрію та електропровідними наповнювачами, які мали мінімальні величини електричного опору та склад яких наведено у табл. 4.3, досліджували за допомогою бінокулярного мікроскопа МБС-2 (рис. 4.12). Досліджували поверхню покриттів, нанесених на зразки – балочки розміром 160×40×40 із цементно-піщаного розчину. Зображення отримували зі збільшенням ×7,5; ×12,5; ×25; ×50; ×87,5.

Мікрознімки поверхні модельних систем наведені на рис. 4.13–4.16, а визначені за ними розміри частинок електропровідних наповнювачів – у табл. 4.3.

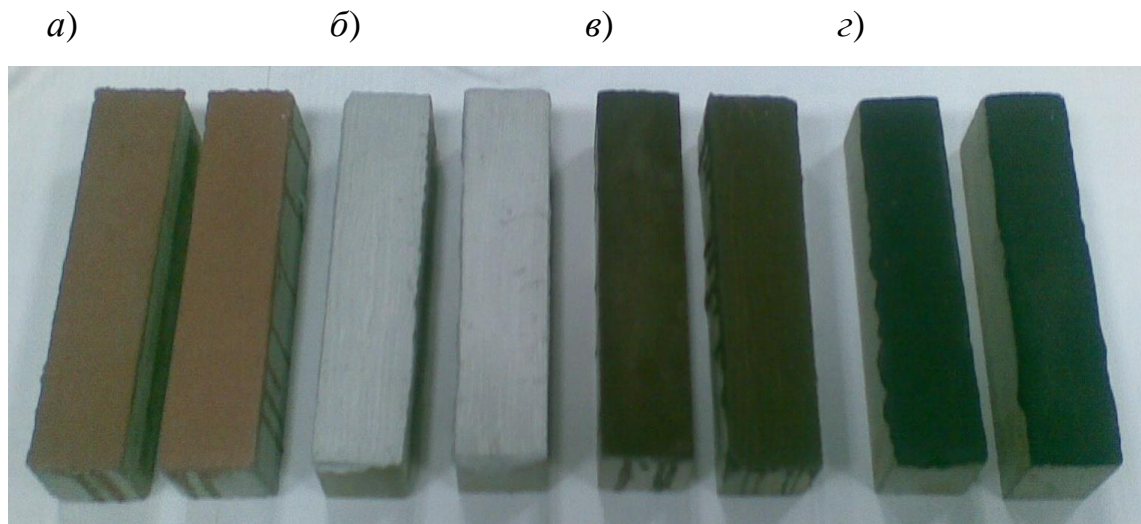
Таблиця 4.3

Склади серій зразків модельних систем з матрицею із силікату натрію та електропровідними наповнювачами для мікроскопічних досліджень

№	Електропровідний наповнювач – порошкоподібний:	Вміст наповнювача, % від маси силікату натрію	Розміри частинок, визначені за мікрознімками, мкм
1	Мідь <i>Cu</i>	100	10–80
2	Алюміній <i>Al</i>	5	10–20
3	Цинк <i>Zn</i>	125	10–60
4	Графіт <i>C</i> (ГС-1)	50	5–10

Як бачимо із знімків рис. 4.13–4.15, металеві електропровідні наповнювачі у композитах, особливо мідь, схильні до коагуляції в агрегати, а прошарки матриці між ними мають товщину, порівнянну з розмірами самих агрегатів.

Графітовий наповнювач (рис. 4.16), навпаки, розподілений по матриці рівномірно, про що свідчить набагато більш однорідна структура композиту. Товщина прошарків матриці між окремими частинками графітового наповнювача порівняна з розмірами цих частинок, що сприяє набагато меншому електричному опору композитів з графітовим наповнювачем у порівнянні з композитами з металевими наповнювачами.



д)



Рис. 4.12 Мікроскопічні дослідження композитів з електропровідними наповнювачами: *a* – міддю *Cu*; *б* – алюмінієм *Al*; *в* – цинком *Zn*; *г* – графітом *C*; *д* – бінокулярний мікроскоп МБС-2

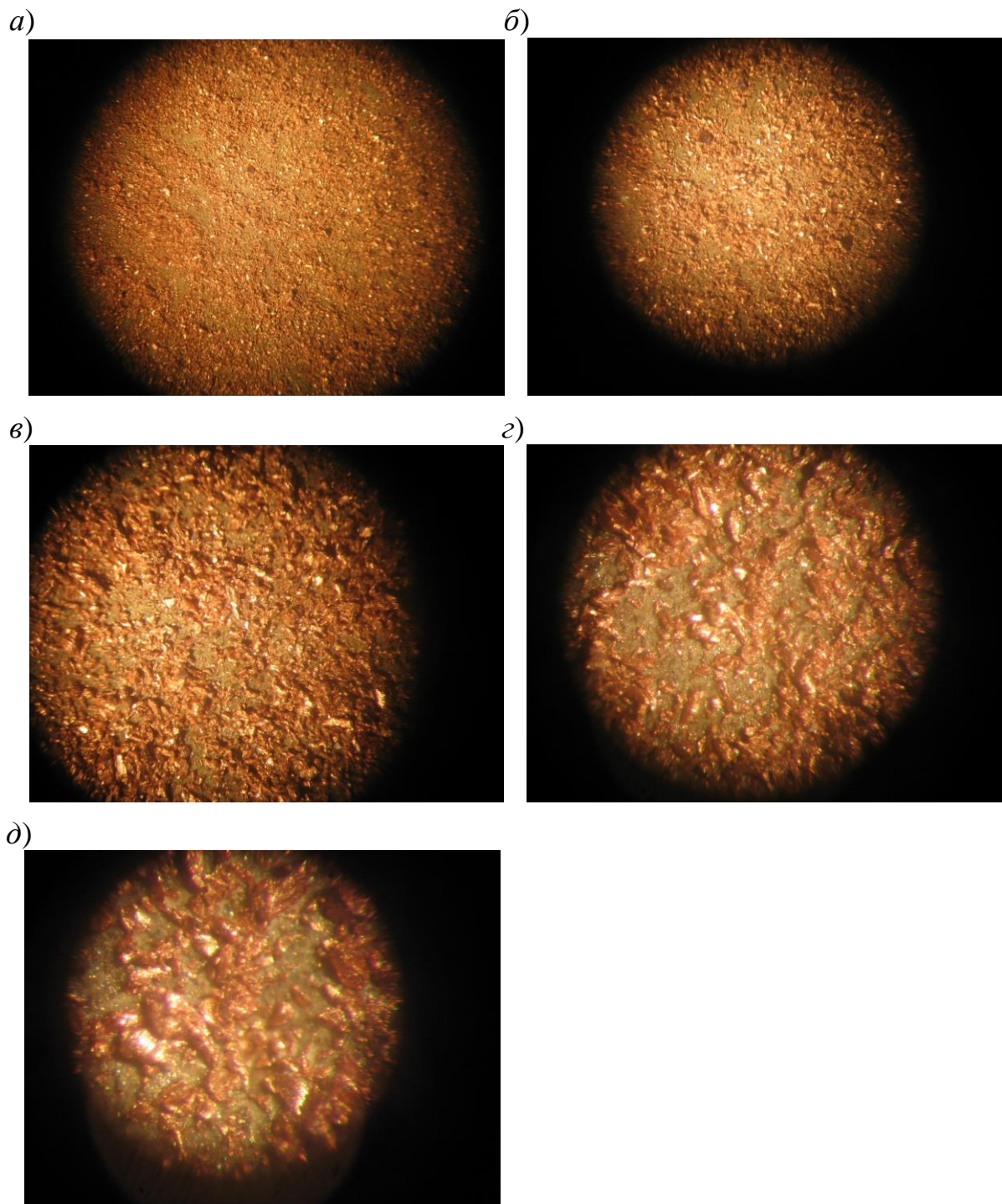


Рис. 4.13 Мікроснімки поверхні композиту з електропровідним наповнювачем – порошком міді Cu в кількості 100 % від маси силікату натрію: a – $\times 7,5$; b – $\times 12,5$; v – $\times 25$; z – $\times 50$; d – $\times 87,5$

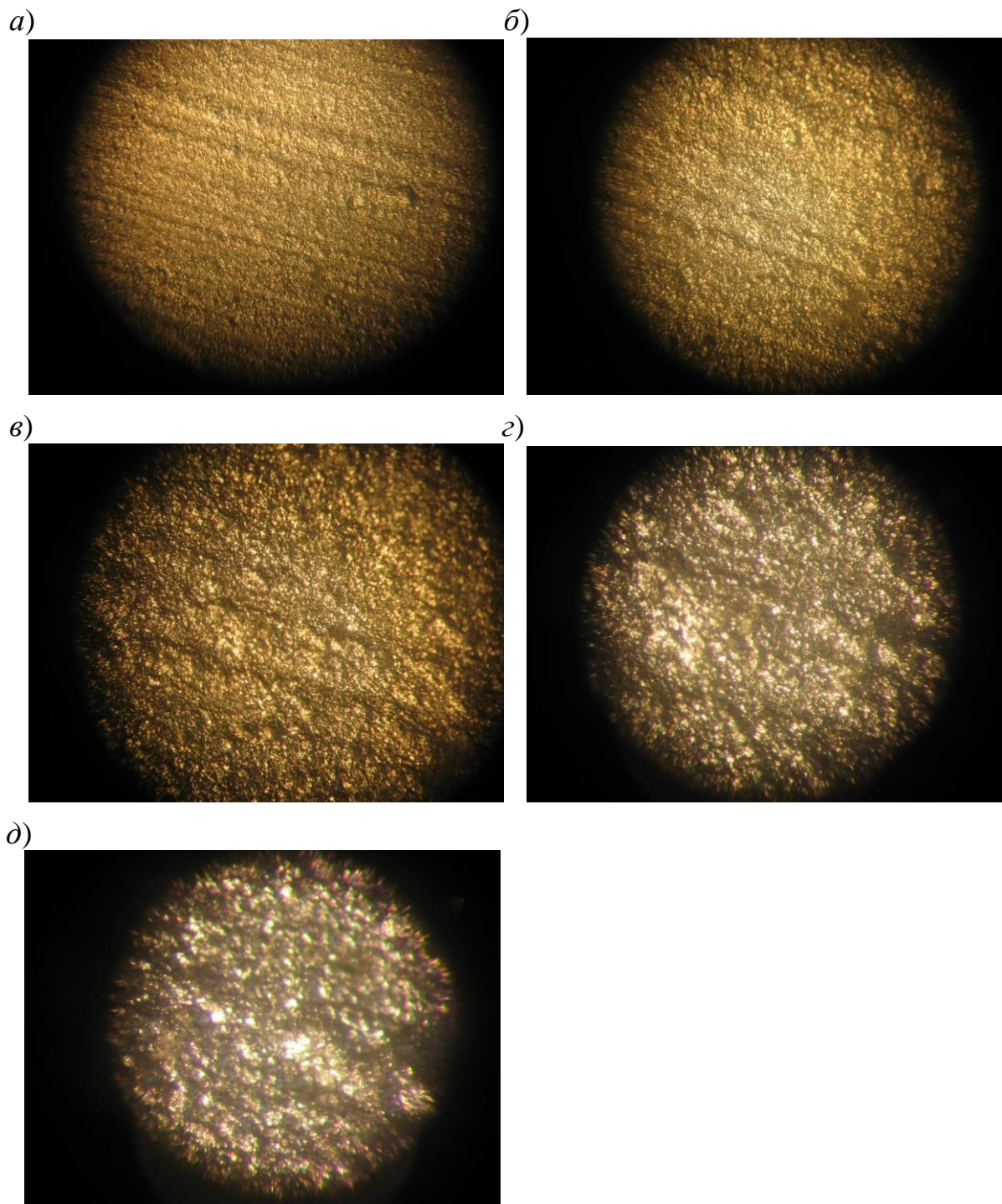


Рис. 4.14 Мікроснімки поверхні композиту з електропровідним наповнювачем – порошком алюмінію Al в кількості 5 % від маси силікату натрію: a – $\times 7,5$; $б$ – $\times 12,5$; $в$ – $\times 25$; $г$ – $\times 50$; $д$ – $\times 87,5$

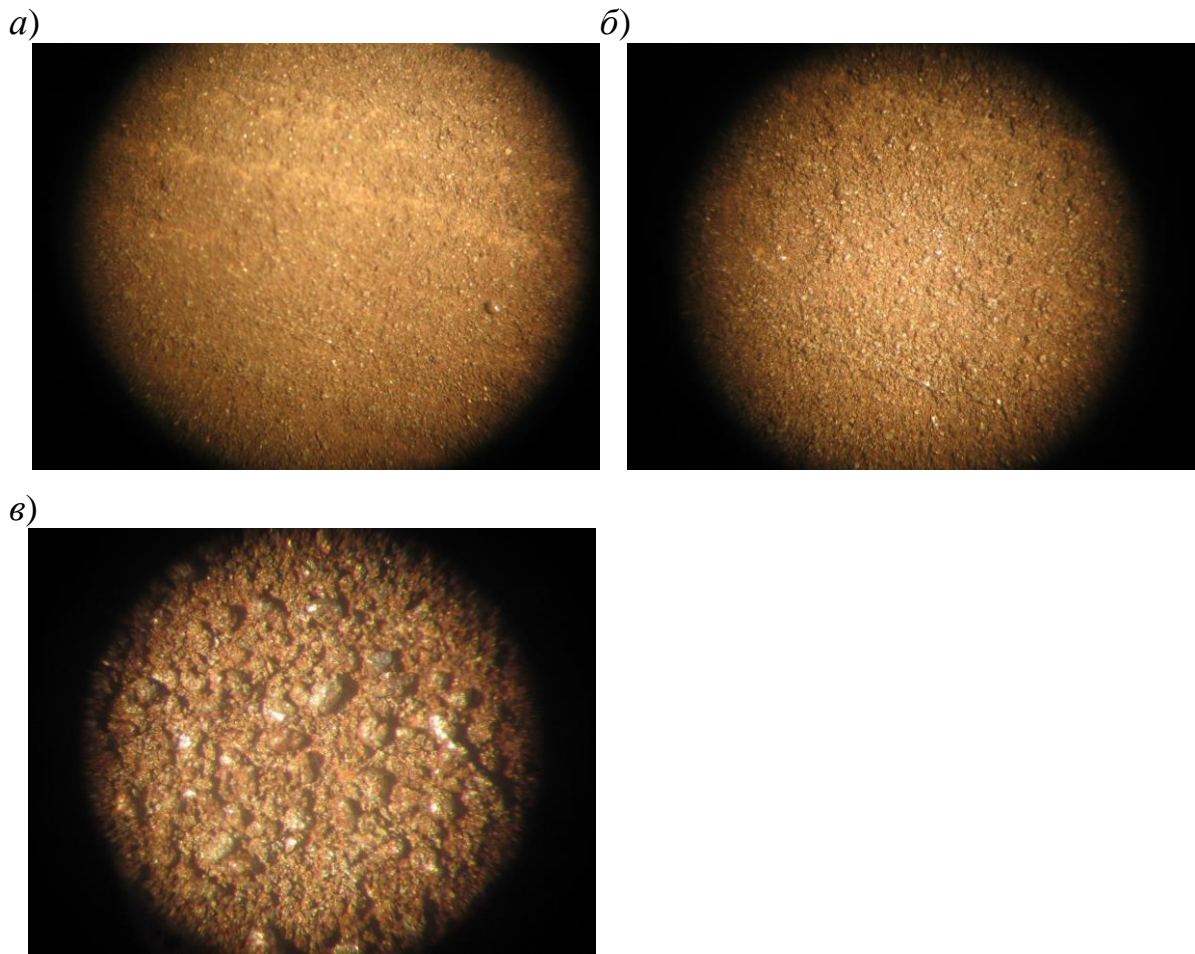


Рис. 4.15 Мікрознімки поверхні композиту з електропровідним наповнювачем – порошком цинку Zn в кількості 125 % від маси силікату натрію: a – $\times 7,5$; $б$ – $\times 12,5$; $в$ – $\times 50$

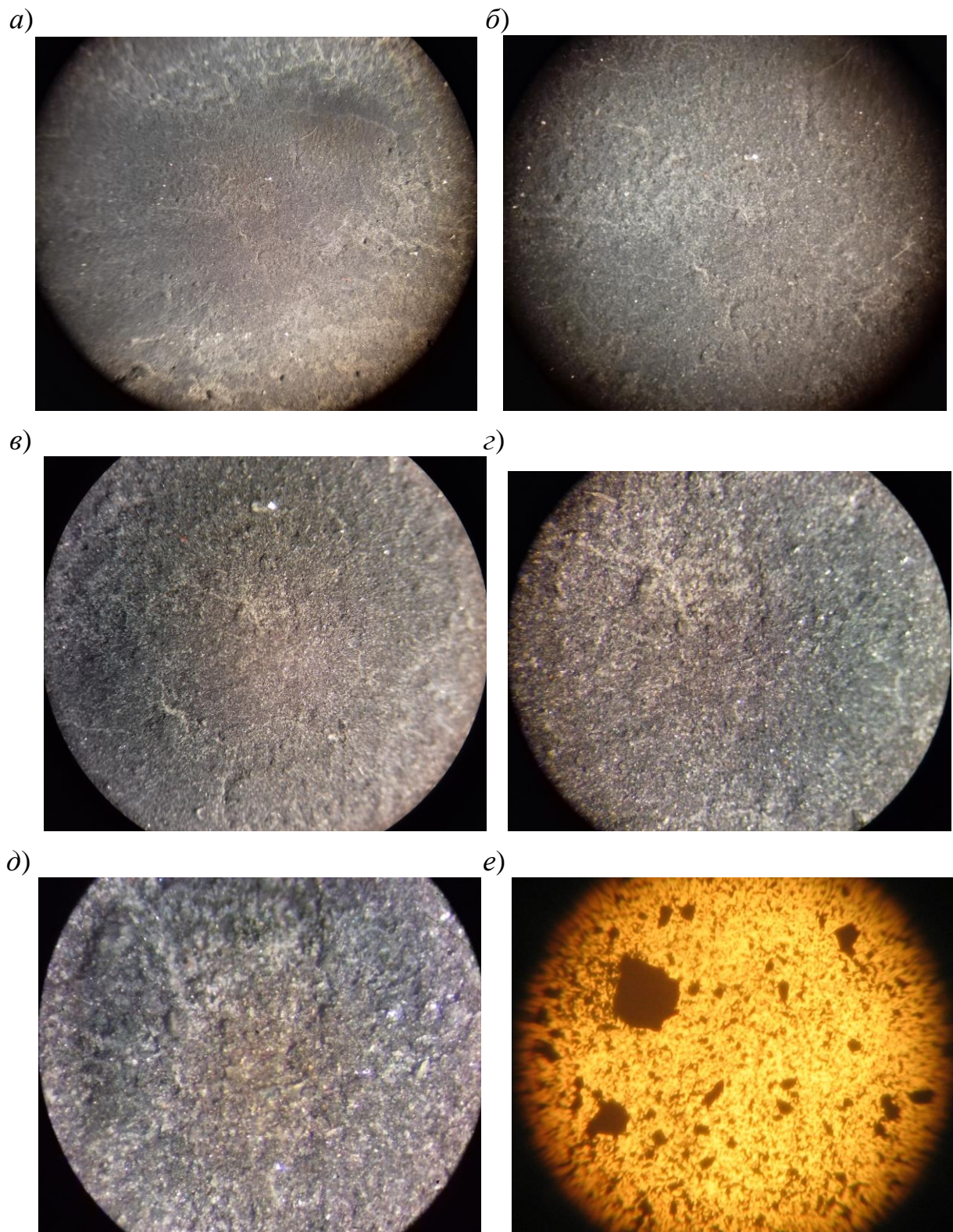


Рис. 4.14 Мікрознімки поверхні композиту з електропровідним наповнювачем – порошком графіту *C* в кількості 50 % від маси силікату натрію (*a* – $\times 7,5$; *б* – $\times 12,5$; *в* – $\times 25$; *г* – $\times 50$; *д* – $\times 87,5$) та імерсійного препарату графіту (*е* – $\times 87,5$)

4.1.4 Фізико-механічні та гідрофізичні властивості композиту з графітовим наповнювачем та зв'язуючим – сілікатом натрію

Визначено фізико-механічні та гідрофізичні властивості композиту з графітовим наповнювачем. Досліджено склад композиту зі зниженим відносно попередніх досліджень рідко-твердим відношенням – $CH/H = 0,75$.

Властивості композиту:

- питомий електричний опір $\rho - 0,5 \text{ Ом}\times\text{м}$;
- міцність на стиск f у стані:
 - сухому – 12,4 МПа,
 - водонасиченому – 2,5 МПа;
- коефіцієнт розм'якшення (водостійкості) – 0,2;
- міцність зчеплення з цементно-піщаним розчином у сухому стані – 2,1 МПа (3,1; 1,4*; 1,8, руйнування когезійне по цементно-піщаному розчину або адгезійне*).

Стійкість покриття із композиту з графітовим наповнювачем в атмосферних умовах визначено прискореними та натурними випробуваннями.

Для випробувань композит наносили на всі грані 6-ти зразків-балочок розміром $160\times 40\times 40$ мм та 3-х зразків-кубів з розміром ребра 100 мм (рис. 4.15, а, б).

Прискореним випробуванням піддавали зразки зразки-балочки. 2 зразки-балочки залишались контрольними та їх зберігали у кімнатних умовах за відносної вологості повітря 60–80 % і температури $20\pm 2^\circ\text{C}$. 4 зразки піддавали циклічним впливам, кожний з яких характеризувався параметрами:

- 1) витримування у камері вологи з відносною вологістю повітря 100 % та температурою 40°C – 8 год;
- 2) витримування у морозильній камері за температури $(-16)^\circ\text{C}$ – 16 год;
- 3) поперемінне зволоження та висушування – 7 год, що складалось із циклів зрошення дистильованою водою – 3 хв, висихання за температури 60°C – 17 хв;

- 4) ультрафіолетове опромінення лампою потужністю 1000 Вт – 6 год;
- 5) витримування без атмосферних впливів у кімнатних умовах за відносної вологості повітря 60–80 % і температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ – 10 год.

Після кожного циклу зразки оглядали, фотографували, порівнювали з контрольними. Зразки, які зазнали прискорених випробувань, наведені на рис. 4.15, в, г.

Після двох циклів впливу на зразках відзначались пошкодження:

- сильне меління;
- локальне відшарування покриття (на 1 зразку з чотирьох);
- подальше відшарування покриття в результаті несильного механічного впливу;

На контрольних зразках пошкодження не спостерігались.

Після п'яти циклів впливу на зразках відзначались пошкодження:

- значне відшарування покриття на всіх зразках;
- подальше відшарування покриття в результаті слабкого механічного впливу.

На контрольних зразках спостерігались волосяні усадкові тріщини і локальні ділянки відшарування. Для натурних випробувань зразки-куби поміщували в атмосферних умовах без захисту від опадів та сонячних променів (на даху будівлі). Через рік на незахищених гранях (всіх крім нижньої) покриття було повністю зруйноване (відсутнє).

Отже, досліджені електропровідні композити з графітовим наповнювачем та матрицею із силікату натрію характеризуються низькою водостійкістю – їх коефіцієнт розм'якшення не перевищує 0,2 та є нестійкими в атмосферних умовах. Оскільки для фундаментів застосовуються лише водостійкі матеріали з коефіцієнтом розм'якшення не менше 0,8, незважаючи на найменший електричний опір (4–5 Ом \times м та менше до 0,5 Ом \times м) ці композити без спеціальних заходів з підвищення водостійкості та атмосферостійкості непридатні для заземлених екранів для захисту споруд від електрокорозії.

Тому для подальших досліджень і розробки складів композитів обрано цементну матрицю.

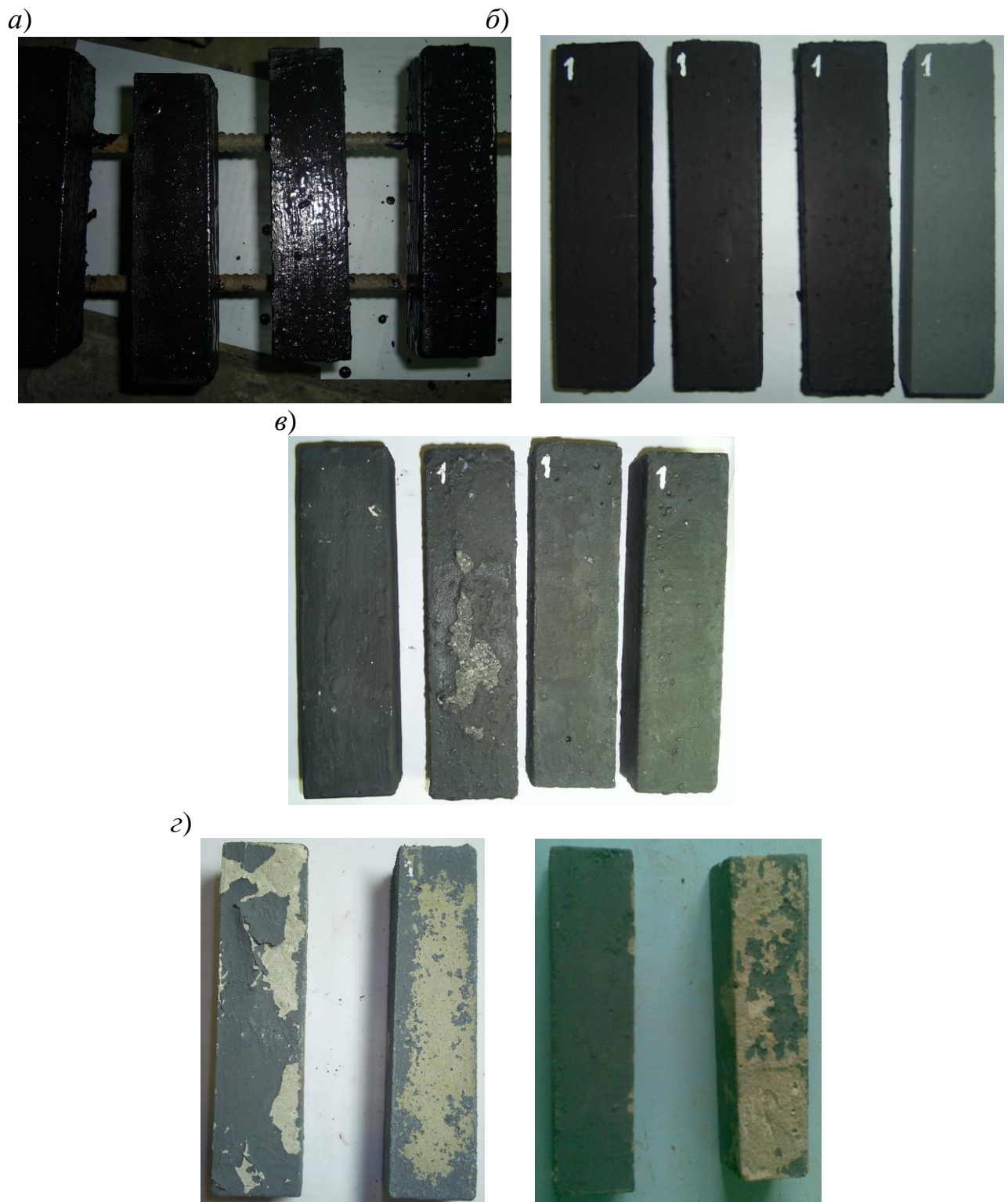


Рис. 4.15 Зразки покриття композицією з графітовим наповнювачем і в'язучим – силікатом натрію одразу після виготовлення (а), затвердіння (б), 2 циклів (в) та 5 циклів (г) прискорених кліматичних випробувань

4.2 Експериментальні дослідження з розробки і уточнення складів електропровідної композиції на основі портландцементу та графітового наповнювача

4.2.1 Седиментаційний аналіз графітового наповнювача

Здійснено седиментаційний аналіз графітового наповнювача марки ГС-1.

Вихідні дані для седиментаційного аналізу:

- густина графіту ρ_1 , кг/м³ – 2090;
- прилад – торсійні ваги;
- рідина – зневоднений гас;
- в'язкість рідини η , Па×с – 0,0018;
- густина рідини ρ_2 , кг/м³ – 800;
- глибина занурення чашки ваг H , см – 14 см.
- стала Стокса для аналізу –

$$C = \sqrt{\frac{9\eta}{2(\rho_1 - \rho_2)g}} = \sqrt{\frac{9 \times 0,0018}{2 \times (2090 - 800) \times 9,81}} = 0,8 \times 10^{-3}.$$

Результати седиментаційного аналізу наведено у табл. 4.4 і на рис. 4.16.

Аналіз диференційної кривої розподілу частинок графіту за розмірами (рис. 4.16, *в*) показує, що графітовий порошок є поліфракційним з середніми розмірами фракцій 2, 5, 10, 30 та 80 мкм. Аналіз інтегральної кривої розподілу (рис. 4.16, *б*) показує, що сумарний вміст фракцій з розмірами частинок до 10 мкм досягає 40 % за масою, від 10 до 50 мкм – близько 20 %, понад 50 мкм – решта, отже до 40 %. Незважаючи на значний за масою вміст частинок розміром понад 50 мкм, їх внесок у структуру можна вважати незначним, про що свідчить мікроснімок імерсійного препарату графіту на рис. 4.14, *е*, з якого видно, що кількість таких частинок у порівнянні з більш дрібними вкрай незначна.

Таблиця 4.4

Результати седиментаційного аналізу графіту марки ГС-1

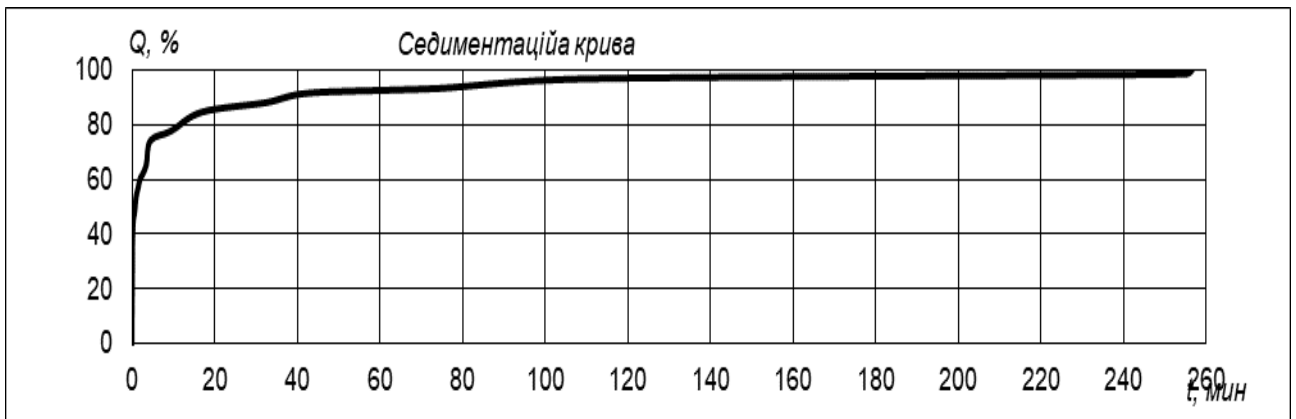
Час t			Вага чашки ваг з частин- ками, мг	Вага частинок на чашці ваг			Швидкість седиментації $V=H/t$, м/с	Радіус частинок $r=C \times V^{0,5}$		r_{cp} , мкм	(100-Q), %	Δr , мкм	ΔQ , %	$\frac{dQ}{dr}$	
хв, с	с	хв		p , мг	Q , %	ΔQ , %		м	мкм						
0	0	0	0,00	193	0	0									
0	10	10	0,17	215	22	37,9	37,9	0,01400	0,000095	94,7	80,8	100	27,7	37,9	1,37
0	20	20	0,33	219	26	44,8	6,9	0,00700	0,000067	66,9	57,1	62,07	19,6	6,9	0,35
0	40	40	0,67	221	28	48,3	3,4	0,00350	0,000047	47,3	43,0	55,17	8,7	3,4	0,40
1	0	60	1,00	224	31	53,4	5,2	0,00233	0,000039	38,6	35,1	51,72	7,1	5,2	0,73
1	30	90	1,50	226	33	56,9	3,4	0,00156	0,000032	31,6	29,4	46,55	4,2	3,4	0,82
2	0	120	2,00	228	35	60,3	3,4	0,00117	0,000027	27,3	14,9	43,1	24,9	3,4	0,14
2	40	160	2,67	229	36	62,1	1,7	0,00088	0,000024	23,7	11,8	39,66	23,7	1,7	0,07
3	30	210	3,50	231	38	65,5	3,4	0,00067	0,000021	20,7	10,3	37,93	20,7	3,4	0,17
4	30	270	4,50	236	43	74,1	8,6	0,00052	0,000018	18,2	9,1	34,48	18,2	8,6	0,47
9	30	570	9,50	238	45	77,6	3,4	0,00025	0,000013	12,5	6,3	25,86	12,5	3,4	0,28
17	0	1020	17,00	242	49	84,5	6,9	0,00014	0,000009	9,4	4,7	22,41	9,4	6,9	0,74
32	30	1950	32,50	244	51	87,9	3,4	0,00007	0,000007	6,8	3,4	15,52	6,8	3,4	0,51
43	0	2580	43,00	246	53	91,4	3,4	0,00005	0,000006	5,9	2,9	12,07	5,9	3,4	0,59
74	30	4470	74,50	247	54	93,1	1,7	0,00003	0,000004	4,5	2,2	8,621	4,5	1,7	0,39
90	0	6600	110,00	249	56	96,6	3,4	0,00002	0,000004	3,7	1,8	6,897	3,7	3,4	0,94
255	0	15300	255,00	250	57	98,3	1,7	0,00001	0,000002	2,4	1,2	3,448	2,4	1,7	0,71
256	40	15400	256,67	251	58	100	1,7	0,00001	0,000002	2,4	1,2	1,724	2,4	1,7	0,71

100

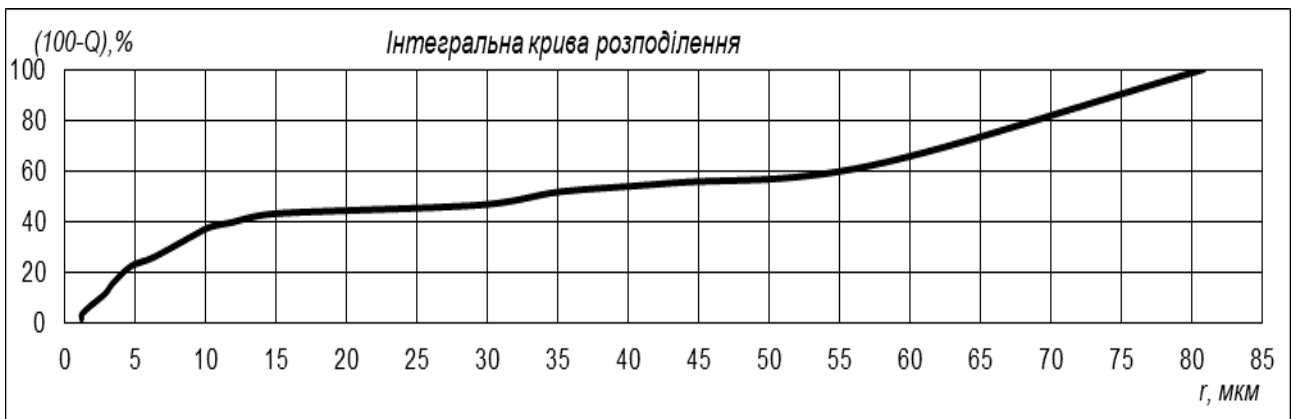
100

Виходячи з викладеного, а також характеру диференційної кривої розподілу (рис. 4.16, в) середнім розміром (радіусом) переважаючої фракції графіту можна вважати 30 мкм.

а)



б)



в)



Рис. 4.16 Результати седиментаційного аналізу графіту марки ГС-1: а – седиментаційні крива; б – інтегральна крива розподілу; в – диференційна крива розподілу

4.2.2 Розробка складу портландцементної основи для електропровідної композиції з графітовим наповнювачем

За портландцементну основу прийнято гідроізоляційну композицію проникної дії, яка складається із портландцементу, кварцового піску та хімічно активної добавки [170]. Ця композиція дозволяє отримати високоміцний, водонепроникний, морозостійкий захисний шар з короткими термінами твердіння, добрим зчепленням зі «старим» бетоном та іншими кам'яними підкладками. Проте

вона, маючи високі показники фізико-механічних властивостей і водонепроникності, має й високий електричний опір і не здатна забезпечувати захист від електрокорозії струмами витоку та блукаючими струмами як заземлений захисний екран. Для підвищення електропровідності та зниження електричного опору композиції запропоновано змінити її склад, зокрема, замінити частину піску графітовим наповнювачем або додати його у композицію.

Далі досліджено композицію складу:

- портландцемент ПЦ І-500Н – 32 (31,0–33,0);
- пісок кварцовий з модулем крупності 1,2–1,5 – 53 (52,1– 56,0);
- комплексна хімічна добавка КХД – в середньому 5 %, у т.ч.:
 - нітрат натрію – 1 (0,15–1,0);
 - кальцієва сіль слабкої неорганічної кислоти – 1 (0,2–1,33);
 - хлорид кальцію – 0,5 (0,10–0,67);
 - сульфат натрію – 0,5 (0,10–0,67);
 - карбонат натрію – 0,5 (0,10–0,67);
 - гідроксид кальцію – 1 (0,25–1,68);
 - перетворювач іржі – 0,1 (0,025–0,17);
 - інгібітор корозії – 0,1 (0,025–0,17);
 - добавка-суперплатифікатор – сульфонафталинформальдегід СП-1 (П) – 0,3 (0,05–0,34).

Вміст графітових наповнювачів варіювали навколо величини 10 % (від 0 до 20 або до 50 %), пропорційно змінюючи вміст інших компонентів.

4.2.3 Дослідження залежностей фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей композицій на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою від вмісту графітового наповнювача

Виконано дослідження залежностей фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей композицій на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою КХД, що забезпечує проникну дію (власної рецептури та близької за складом композиції Віатрон-4TM) від вмісту графітових наповнювачів (порошків марок ГС-1 та ГЛ-1). Результати досліджень наведені у табл. 4.5–4.7 і на рис. 4.17–4.27.

Аналіз рис. 4.18, б, 4.21, 4.24, б, 4.27, б показав, що композиції на основі портландцементу з КХД мають коефіцієнт водостійкості $K_{вс}$ не менший 0,8, тобто є водостійкими, у разі вмісту графітових наповнювачів марок як ГС-1, так і ГЛ-1 до 10 %. Перевищення величинами $K_{вс}$ 1,0 обумовлене додатковою гідратацією композицій зразків, що піддаються водонасиченню, у порівнянні з контрольними зразками, що одночасно витримують у сухих умовах.

Аналіз рис. 4.19, б, 4.22, 4.25, б, 4.28, б показав наступне:

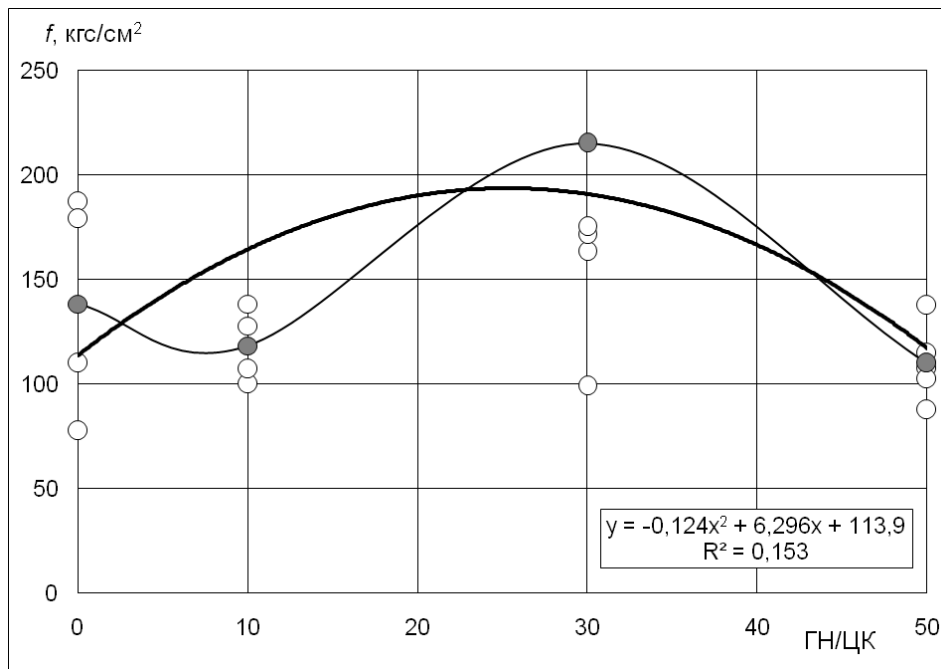
- враховуючи те, що відношення ГН/ЦК зворотно пропорційно коефіцієнту розсунення η (3.24) та вісь абсцис на рис. 3.11 розбита у зворотному порядку, криві рис. 3.11 і 4.27, б схожі та знаходяться у близьких діапазонах величин питомого електричного опору. Це доводить коректність моделі (3.12) для прогнозування питомого електричного опору композиту за даними про питомий електричний опір його компонентів і узагальненими характеристиками його складу;

Таблиця 4.5

Результати дослідження залежності фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою (КХД) від вмісту графітового наповнювача марки ГС-1

ГС/ЦК, %	Маса m , г, у стані:		Водопоглинання за масою W_m , %	Міцність на стиск f , кгс/см ² , у стані:				Коефіцієнт водостійкості (розм'як- шення) $K_{вс}$	Електричний опір R , Ом	Розміри вимірюва- ної частини покрит- тя (на зразку 16×4×4 см), м			Питомий електричний опір ρ , Ом×м		
	сухому	водонас.		сухому		водонасиченому				L	b	h			
0	3,095	3,435	9,9	10,0	77,6	138,5	142	150	1,83	1,22	218000	0,12	0,04	0,0025	181,7
	3,012	3,346	10,0		110		156		1,42						
	3,081	3,417	9,8		187,2		164		0,88						
	3,209	3,583	10,4		179,2		138		0,77						
10	2,95	3,302	10,7	10,6	138,4	118,4	108	108	0,78	0,93	117	0,12	0,04	0,0025	0,098
	3,032	3,405	11,0		128		98,4		0,77						
	3,103	3,473	10,7		100		87,6		0,88						
	2,715	3,027	10,3		107,2		138		1,29						
20	2,965	3,477	14,7	14,7											
30	3,171	3,589	11,6	11,8	163,6	215,3	68,8	110,2	0,42	0,54	34,5	0,12	0,04	0,0025	0,029
	3,172	3,564	11,0		99,2		102,4		1,03						
	2,927	3,309	11,5		171,6		57,6		0,34						
	2,75	3,084	10,8		175,2		62,4		0,36						
	2,743	3,181	13,8		467		260,0		0,56						
40	2,838	3,339	15,0	15,0							29,6	0,12	0,04	0,0025	0,025
50	3,004	3,393	11,5	12,2	108	110,1	76,4	76,2	0,71	0,70	24,3	0,12	0,04	0,0025	0,020
	2,898	3,28	11,6		114,8		79,2		0,69						
	2,827	3,183	11,2		87,6		66,0		0,75						
	2,721	3,197	14,9		102,4		78,4		0,77						
	2,776	3,151	11,9		137,6		80,8		0,59						

а)



б)

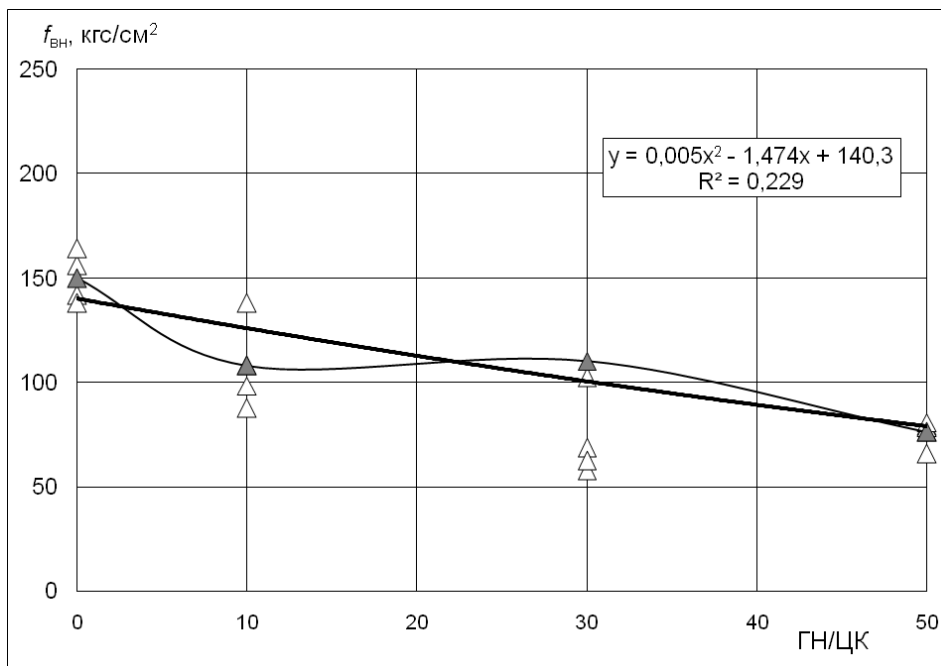
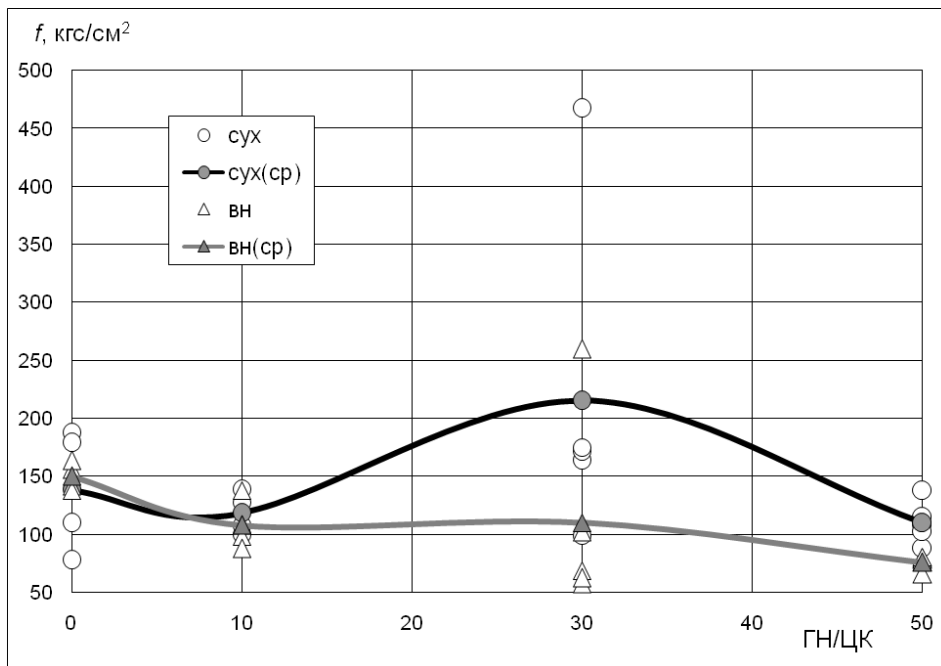


Рис. 4.17 Залежність міцності на стик у сухому f (а) та водонасиченому f_{BH} (б) стані композиції на основі портландцементу з КХД від вмісту графітового наповнювача марки ГС-1 ГН/ЦК, % за масою

а)



б)

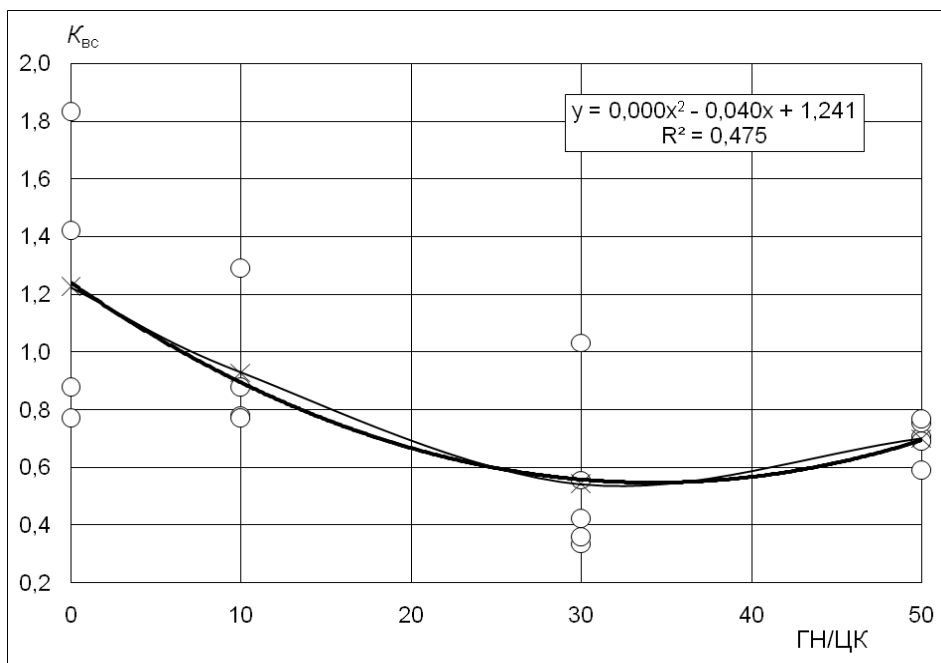
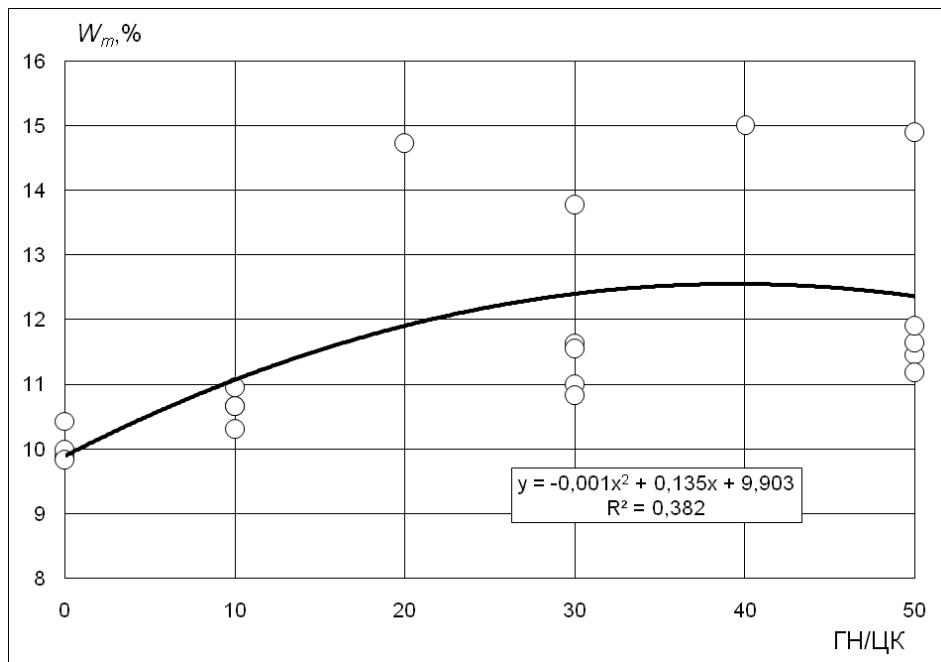


Рис. 4.18 Залежність міцності на стик (а) у сухому f та водонасиченому $f_{вн}$ стані та коефіцієнта водостійкості (розм'якшення) $K_{вн}$ (б) композиції на основі портландцементу з КХД від вмісту графітового наповнювача марки ГС-1 ГН/ЦК, % за масою

a)



б)

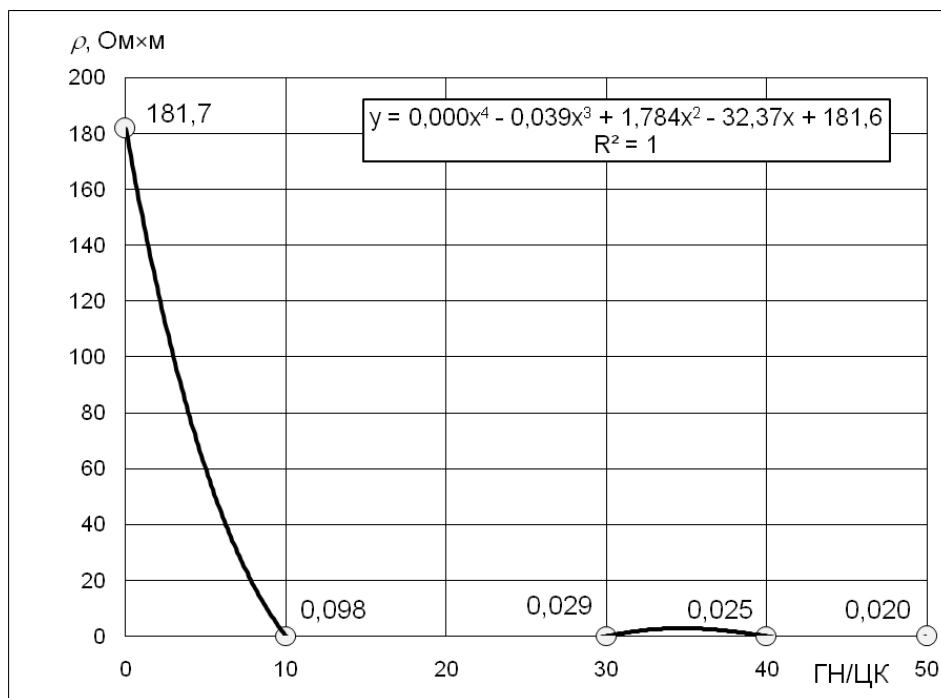


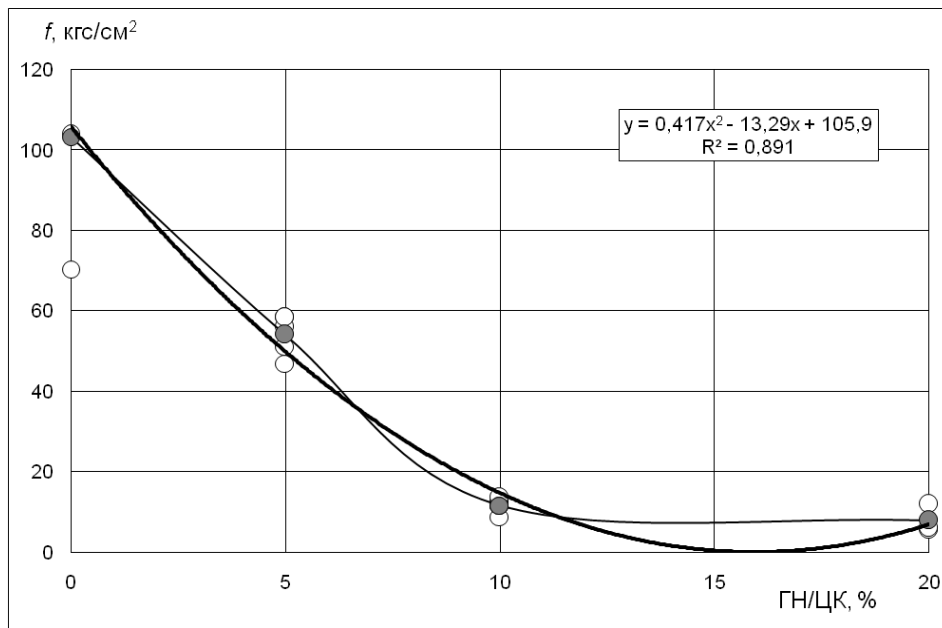
Рис. 4.19 Залежність водопоглинання за масою W_m (a) та питомого електричного опору ρ (б) композиції на основі портландцементу з КХД від вмісту графітового наповнювача марки ГС-1 ГН/ЦК, % за масою

Таблиця 4.6

Результати дослідження залежності фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марки ГЛ-1

ГЛ ЦК %	Маса m , г, у стані:		Водопогли- нання за масою W_m , %	Міцність на стиск f , кгс/см ²				Коефіцієнт водостійкості (розм'як- шення) $K_{вс}$	Електричний опір R , Ом, протягом часу після водонасичення, год:					Розміри вимірюваної частини покриття (на зразку 16×4×4 см), м			Питомий електричний опір ρ , Ом×м, після водонасичення протягом часу, год:						
	сух.	вод.		сухому	водонас.				0	0,1	1	6	24	L	b	h	0	0,1	1	6	24		
0	3,385	3,567	5,10	10,4	70,4	103,3	80,0	85,2	1,136	0,88	320000	115000	4630	3780	3010	0,12	0,04	0,0025	266,7	95,8	3,9	3,2	2,5
0	3,194	3,781	15,52		135,6		84,4		0,622														
0	3,003	3,355	10,49		104,0		91,2		0,877														
5	2,916	3,334	12,54	12,7	58,4	54,2	52,0	47,8	0,890	0,90	220000	54000	4100	4020	4000	0,12	0,04	0,0025	183,3	45,0	3,4	3,4	3,3
5	2,667	3,044	12,39		51,2		70,0		1,367														
5	2,874	3,284	12,48		46,9		49,2		1,049														
5	2,735	3,111	12,09		56,0		37,6		0,671														
5	2,728	3,180	14,21		58,4		30,4		0,521														
10	2,239	2,779	19,43	18,4	11,6	11,6	8,0	11,0	0,690	0,96	40200	21000	3150	2740	2470	0,12	0,04	0,0025	33,50	17,50	2,63	2,28	2,06
10	2,174	2,693	19,27		12,4		10,4		0,839														
10	2,301	2,845	19,12		13,6		12,8		0,941														
10	1,893	2,299	17,66		8,8		10,4		1,182														
10	2,341	2,810	16,69		11,6		13,6		1,172														
20	2,119	2,679	20,90	21,6	12,0	7,9	6,0	5,3	0,500	0,74	1060	1470	1140	820	530	0,12	0,04	0,0025	0,883	1,225	0,950	0,683	0,442
20	2,065	2,674	22,77		5,6		5,2		0,929														
20	1,982	2,513	21,13		6,0		4,8		0,800														

а)



б)

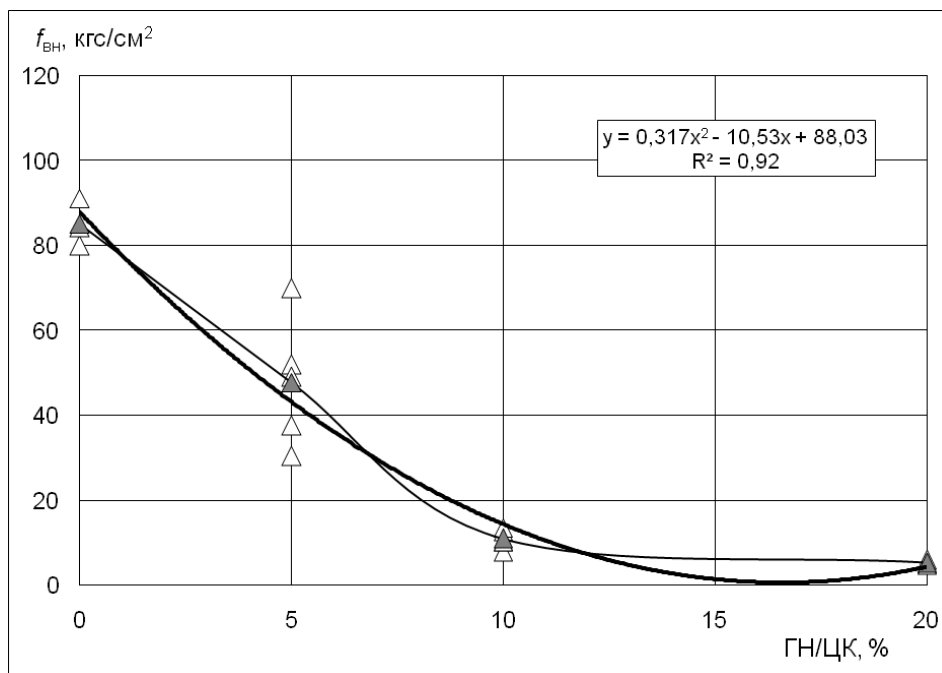
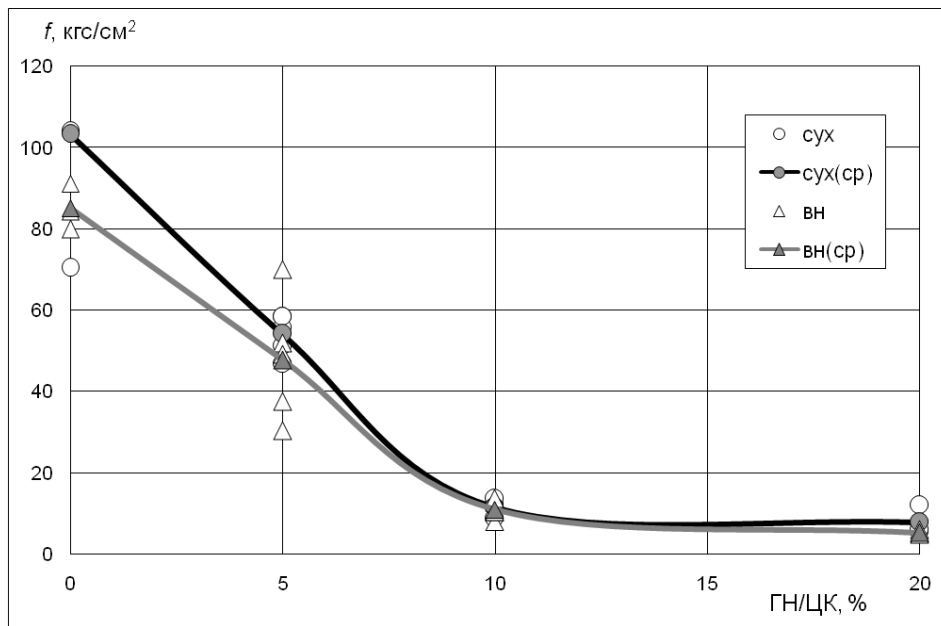


Рис. 4.20 Залежність міцності на стик у сухому f (а) та водонасиченому $f_{вн}$ (б) стані композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марки ГЛ-1 ГН/ЦК, % за масою

а)



б)

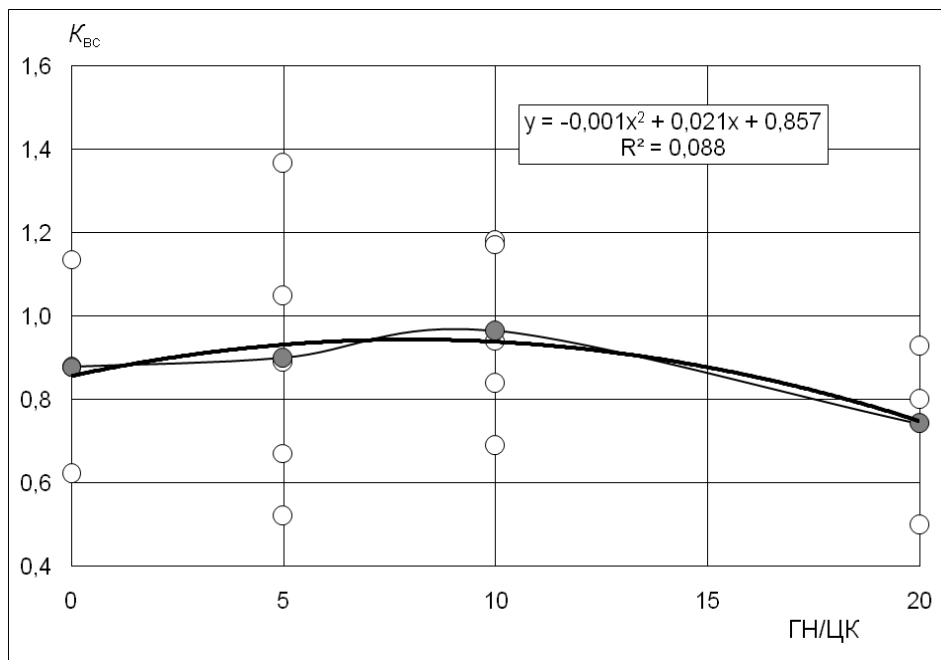
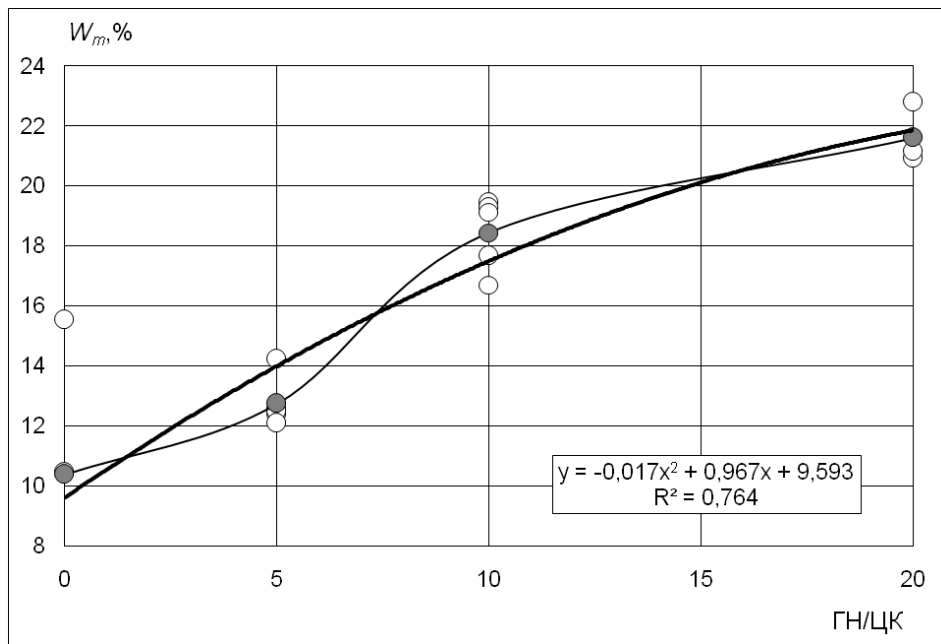


Рис. 4.21 Залежність міцності на стик (а) у сухому f та водонасиченому $f_{вн}$ стані та коефіцієнта водостійкості (розм'якшення) $K_{вн}$ (б) композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марки ГЛ-1 ГН/ЦК, % за масою

a)



б)

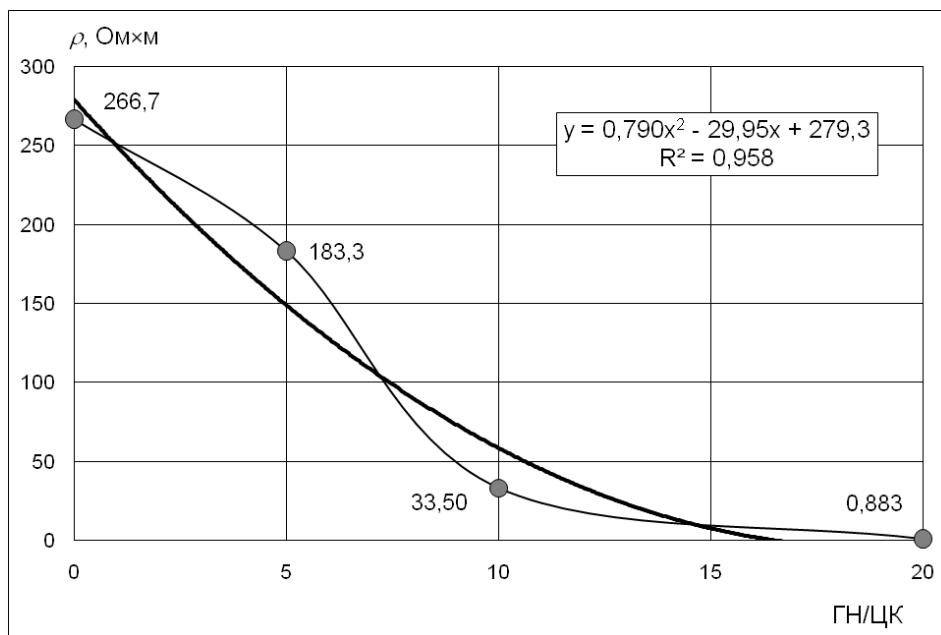


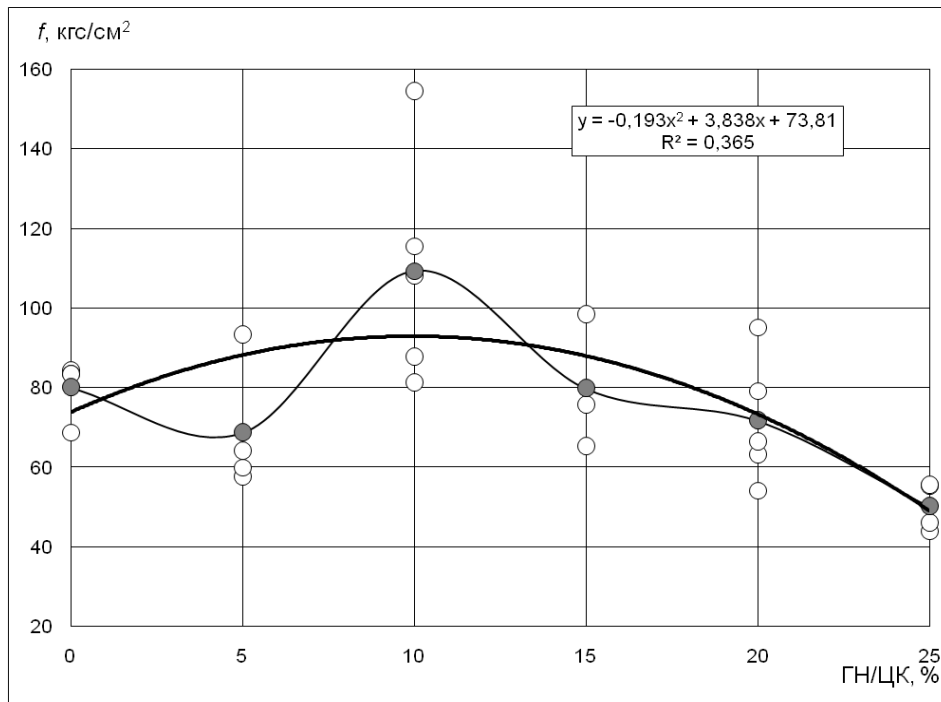
Рис. 4.22 Залежність водпоглинання за масою W_m (a) та питомого електричного опору ρ (б) композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марки ГЛ-1 ГН/ЦК, % за масою

Таблиця 4.7

Результати дослідження залежності фізико-механічних, гідрофізичних та електрофізичних властивостей композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марки ГС-1

ГЛ ЦК %	Маса m , г, у стані:		Водопогли- нання за масою W_m , %		Міцність на стиск f , кгс/см ²				Коефіцієнт водостійкості (розм'як- шення) $K_{вс}$	Електричний опір R , Ом, протягом часу після водонасичення, год:					Розміри вимірюваної частини покриття (на зразку 16×4×4 см), м			Питомий електричний опір ρ , Ом×м, після водонасичення про- тягом часу, год:					
	сух.	вод.			сухому		водонас.			0	0,1	1	6	24	L	b	h	0	0,1	1	6	24	
0	2,745	3,023	9,20	9,4	84,2	80,0	144,0	123,5	1,710	1,54	320000	115000	4630	3580	3010	0,12	0,04	0,0025	266,7	95,8	3,9	3,0	2,5
	2,752	3,048	9,71		83,6		121,6		1,455														
	3,038	3,365	9,72		68,8		94,0		1,366														
	3,044	3,340	8,86		83,2		134,4		1,615														
5	2,569	2,856	10,05	10,1	57,6	68,7	112,8	87,5	1,958	1,34	193000	87000	5110	4320	3460	0,12	0,04	0,0025	160,8	72,5	4,3	3,6	2,9
	2,037	2,271	10,30		64,0		60,0		0,938														
	2,702	3,011	10,26		93,2		81,6		0,876														
	2,640	2,931	9,93		60,0		95,6		1,593														
10	2,812	3,116	9,76	9,9	115,6	109,4	72,0	92,7	0,623	0,87	81000	69000	3600	3180	2770	0,12	0,04	0,0025	67,50	57,50	3,00	2,65	2,31
	2,895	3,209	9,78		81,2		60,0		0,739														
	2,595	2,871	9,61		87,6		89,2		1,018														
	2,800	3,113	10,05		108,0		144,0		1,333														
	2,836	3,160	10,25		154,4		98,4		0,637														
15	2,556	2,836	9,87	9,8	65,2	79,7	70,0	74,0	1,074	0,95	73000	54000	3880	3590	3380	0,12	0,04	0,0025	60,83	45,00	3,23	2,99	2,82
	2,814	3,130	10,10		75,6		76,0		1,005														
	2,598	2,870	9,48		98,4		76,0		0,772														
20	2,409	2,705	10,94	11,0	63,2	71,6	79,6	76,4	1,259	1,11	56000	36000	5300	4720	4070	0,12	0,04	0,0025	46,67	30,00	4,42	3,93	3,39
	2,507	2,818	11,04		95,2		95,2		1,000														
	2,488	2,805	11,30		54,2		72		1,328														
	2,464	2,769	11,01		66,4		99,2		1,494														
	2,562	2,870	10,73		79,2		36		0,455														
25	2,490	2,771	10,14	11,9	55,2	50,2	40	39	0,725	0,79	46000	45000	3660	3670	3670	0,12	0,04	0,0025	38,33	37,50	3,05	3,06	3,06
	2,444	2,838	13,88		55,5		32		0,577														
	2,732	3,103	11,96		44,0		48		1,091														
	2,734	3,098	11,75		46,0		36		0,783														

а)



б)

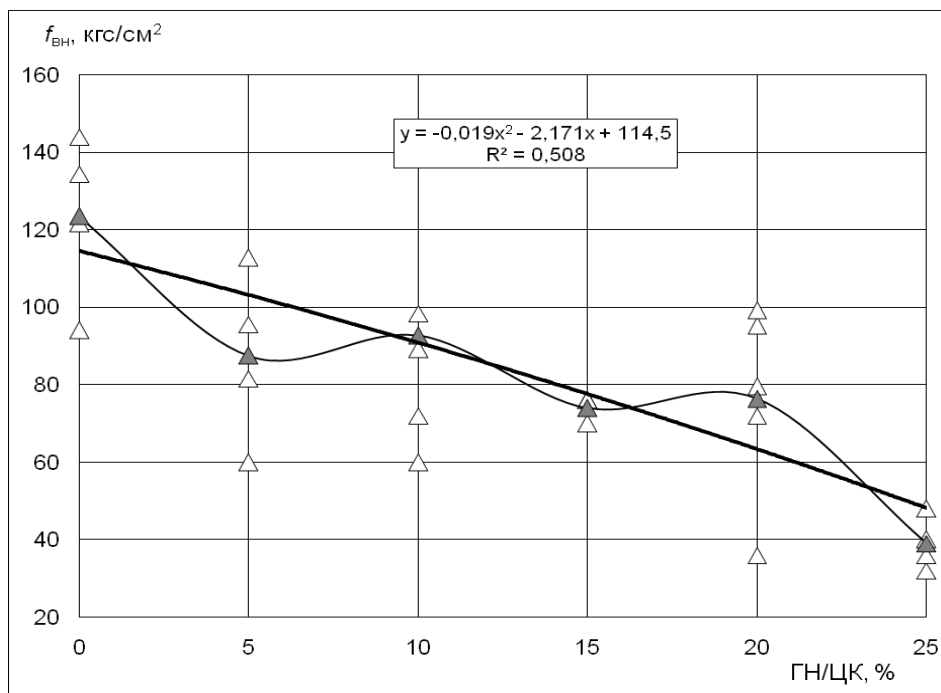
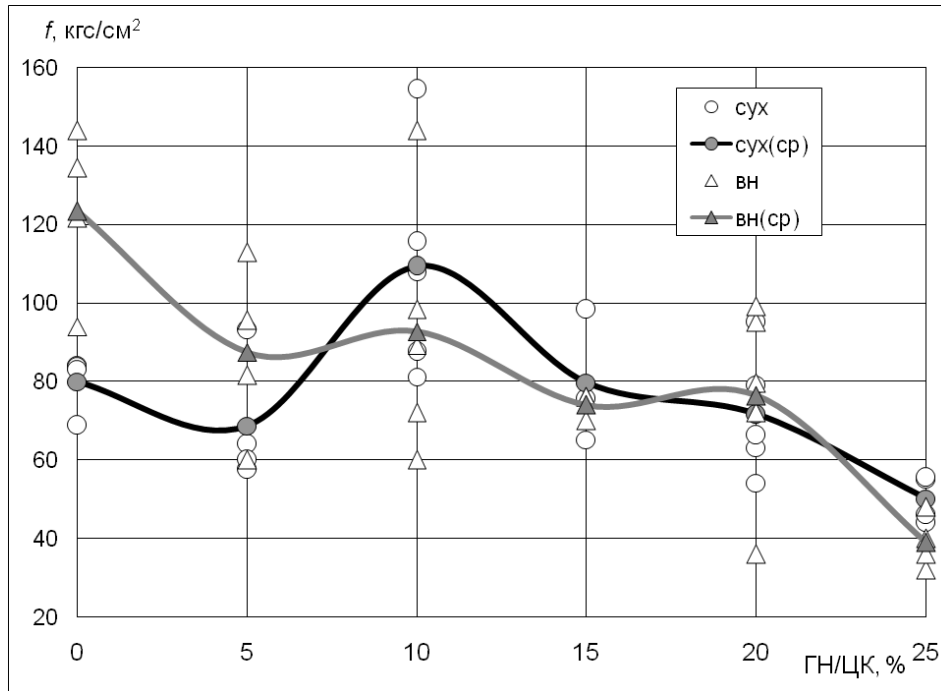


Рис. 4.23 Залежність міцності на стик у сухому f (а) та водонасиченому $f_{вн}$ (б) стані композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марки ГС-1 ГН/ЦК, % за масою

а)



б)

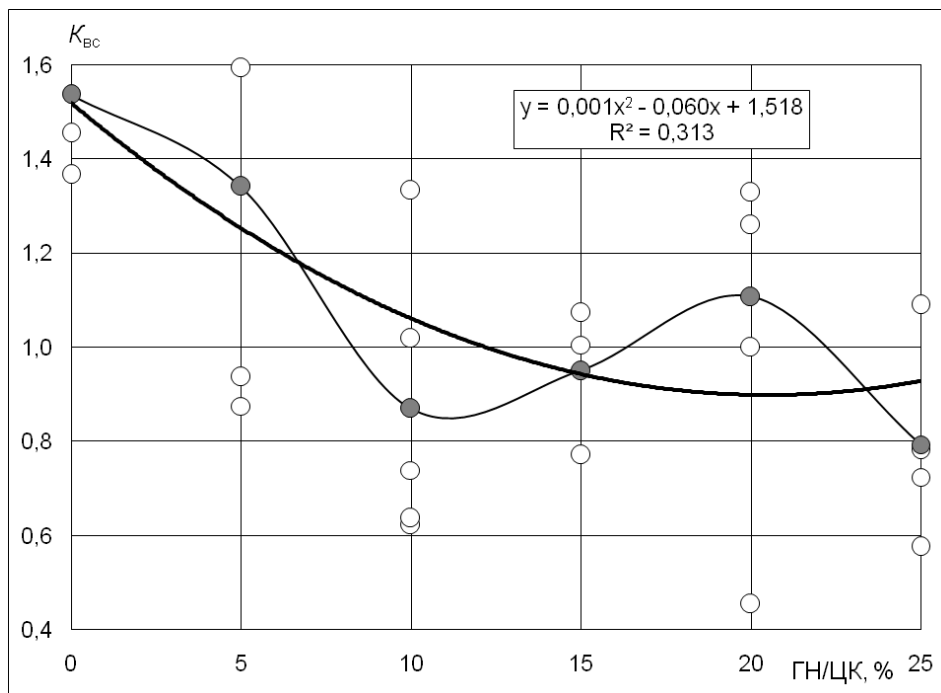
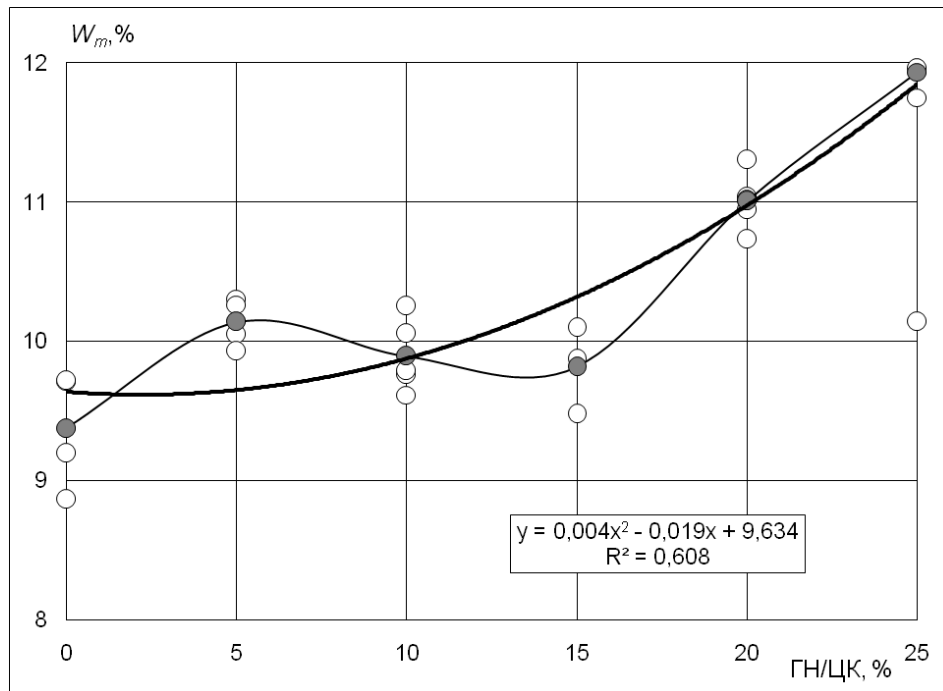


Рис. 4.24 Залежність міцності на стик (а) у сухому f та водонасиченому $f_{вн}$ стані та коефіцієнта водостійкості (розм'якшення) $K_{вн}$ (б) композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марки ГС-1 ГН/ЦК, % за масою

а)



б)

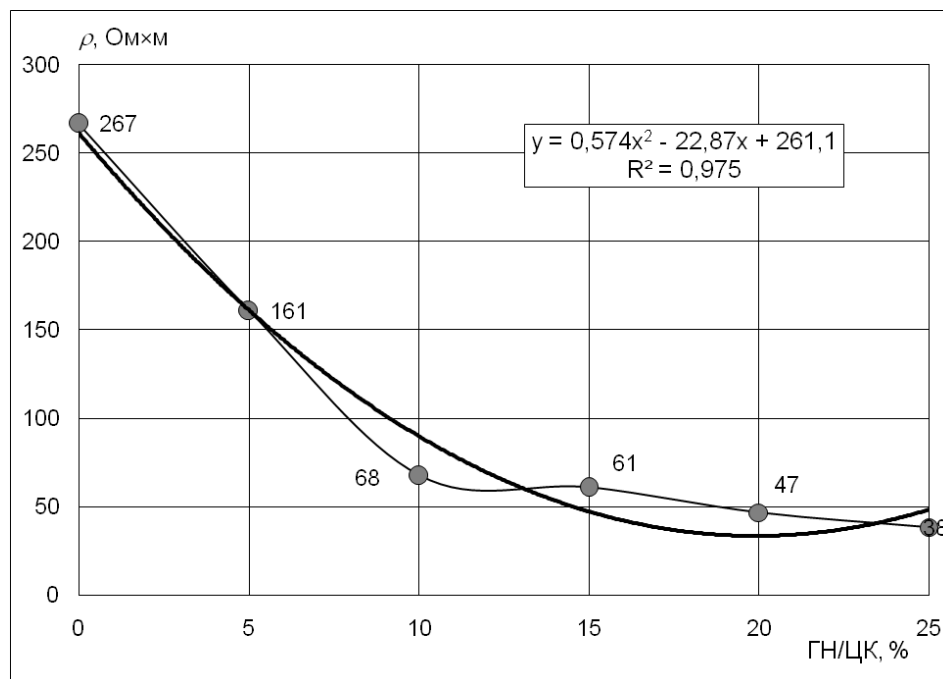
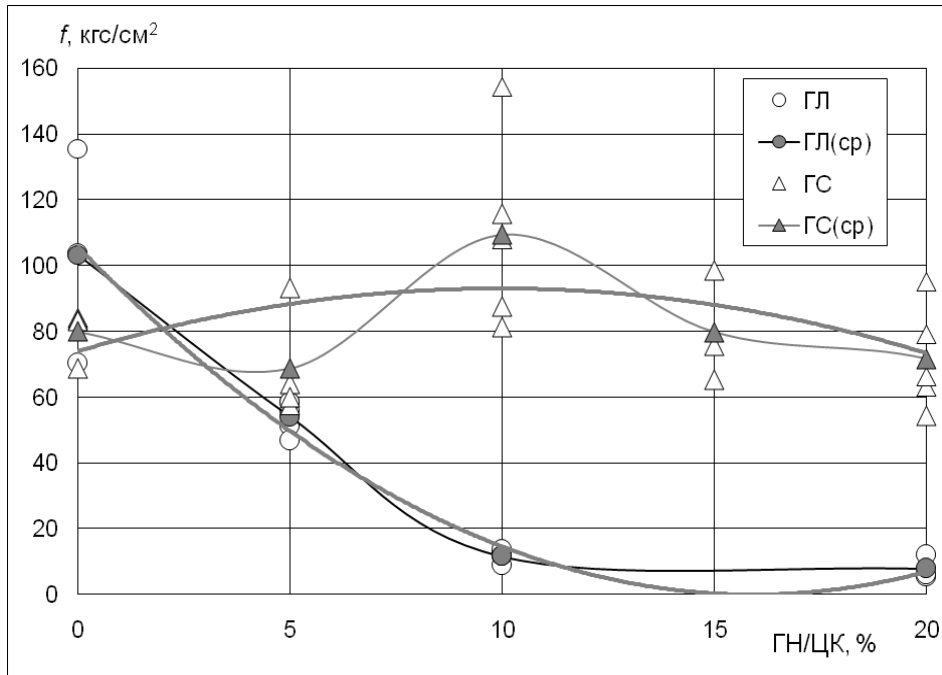


Рис. 4.25 Залежність водпоглинання за масою W_m (а) та питомого електричного опору ρ (б) композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марки ГС-1 ГН/ЦК, % за масою

a)



б)

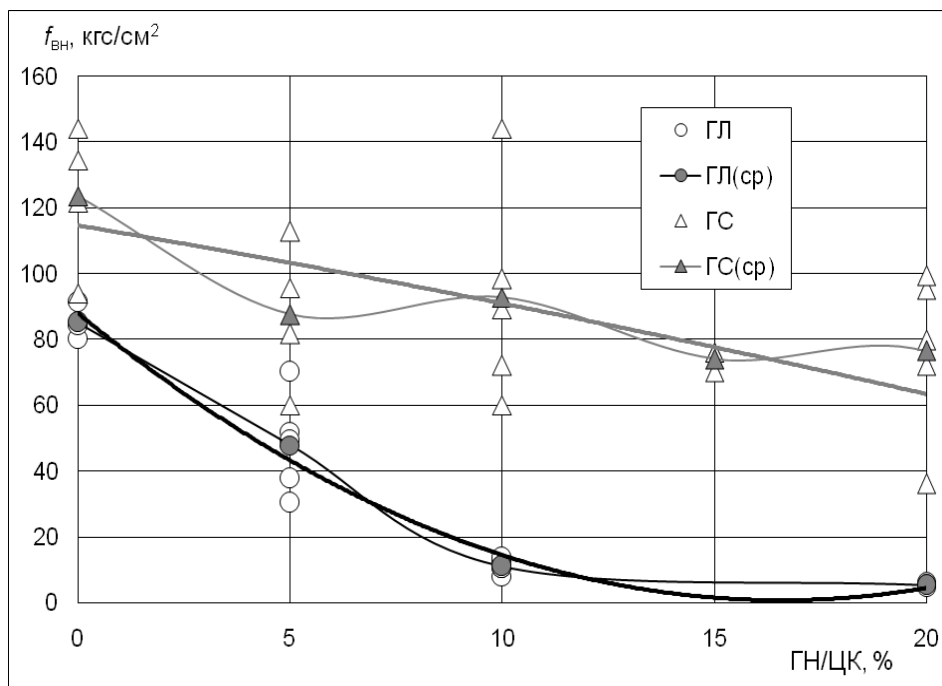


Рис. 4.26 Залежність міцності на стик у сухому f (a) та водонасиченому $f_{вн}$ (б) стані композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від місту графітового наповнювача марок ГЛ-1 і ГС-1 ГН/ЦК, % за масою

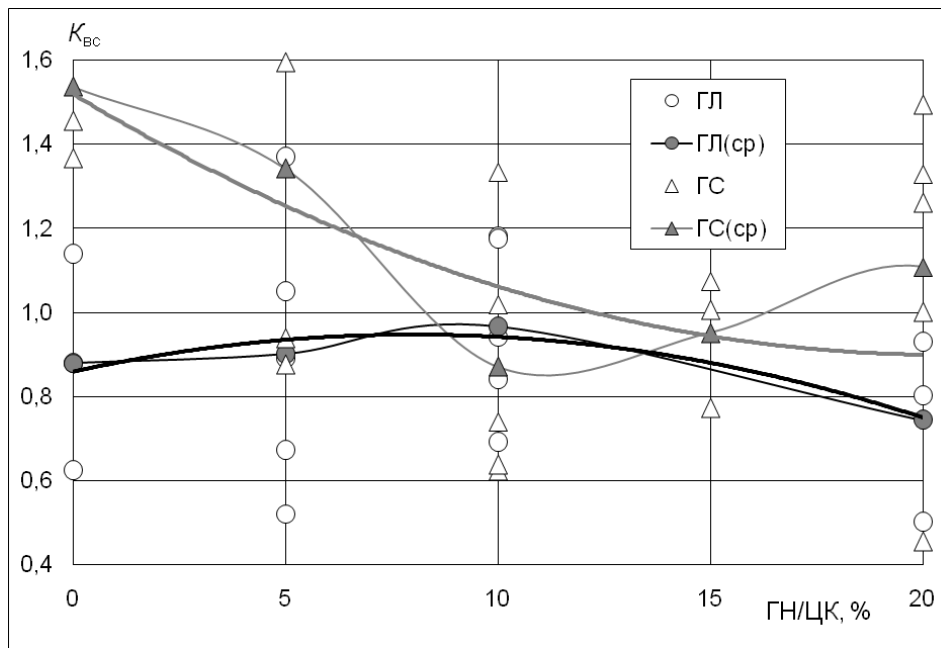
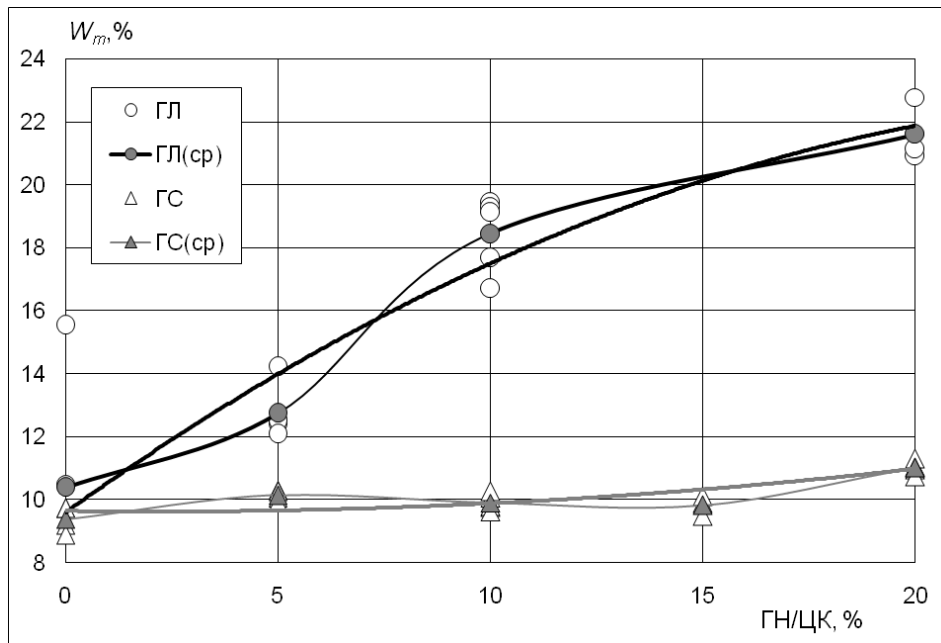


Рис. 4.27 Залежність коефіцієнта водостійкості (розм'якшення) $K_{вн}$ композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марок ГЛ-1 і ГС-1 ГН/ЦК, % за масою

а)



б)

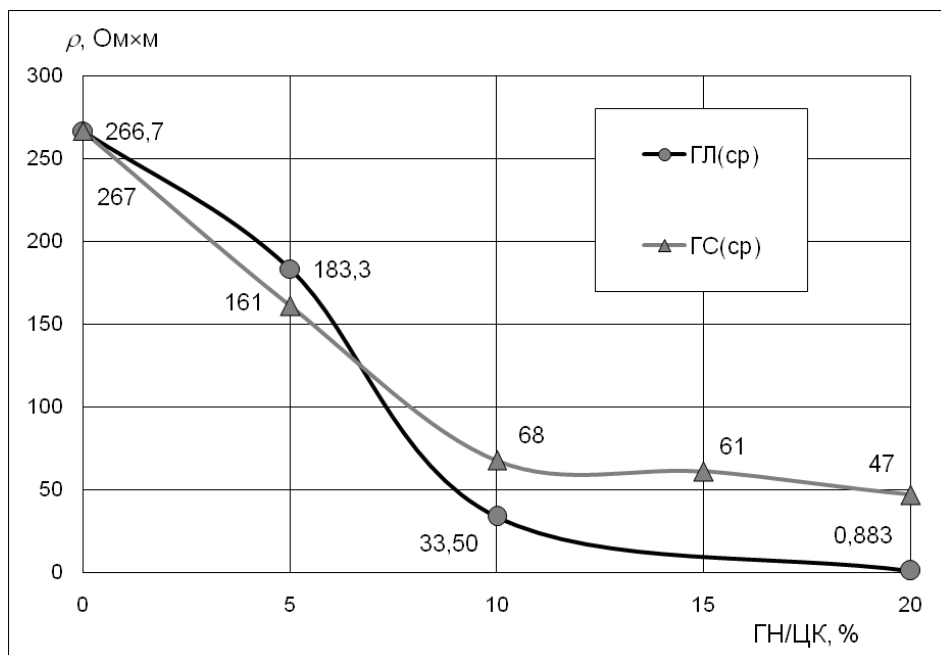


Рис. 4.28 Залежність водопоглинення за масою W_m (а) та питомого електричного опору ρ (б) композиції на основі портландцементу Віатрон-4 від вмісту графітового наповнювача марок ГЛ-1 і ГС-1 ГН/ЦК, % за масою

- зі збільшенням вмісту графітового наповнювача ГН/ЦК від 0 до 10–15 % 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.

Отже, для електропровідної композиції обрано графіт марки ГС-1 та його раціональний вміст в межах 10%.

Аналіз табл. 4.6 і 4.7 показав, що водонасичення композиції забезпечує зниження її питомого електричного опору у 20 разів до величин 2,8 Ом×м, що є актуальним застосування саме такої композиції у захисних екранах, які мають забезпечувати дренавання струмів витоку, що багаторазово збільшуються до небезпечних величин саме у вологу погоду.

4.2.4 Фізико-хімічні дослідження електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем

Фізико-хімічні дослідження електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем виконали у складі рентгенофізичного аналізу та аналізу інфрачервоних спектрів поглинання. Досліджували композицію складу, наведеного у п. 4.1.1 із вмістом графітового наповнювача марки ГС-1 10 % та, для контролю, без наповнювача.

Отримані рентгенограми наведені на рис. 4.29, 4.30, дифракційні максимуми рентгенограм – у табл. 4.8. Для зручності аналізу за даними табл. 4.8 побудовано штихграми рентгенограм, які наведені на рис. 4.31.

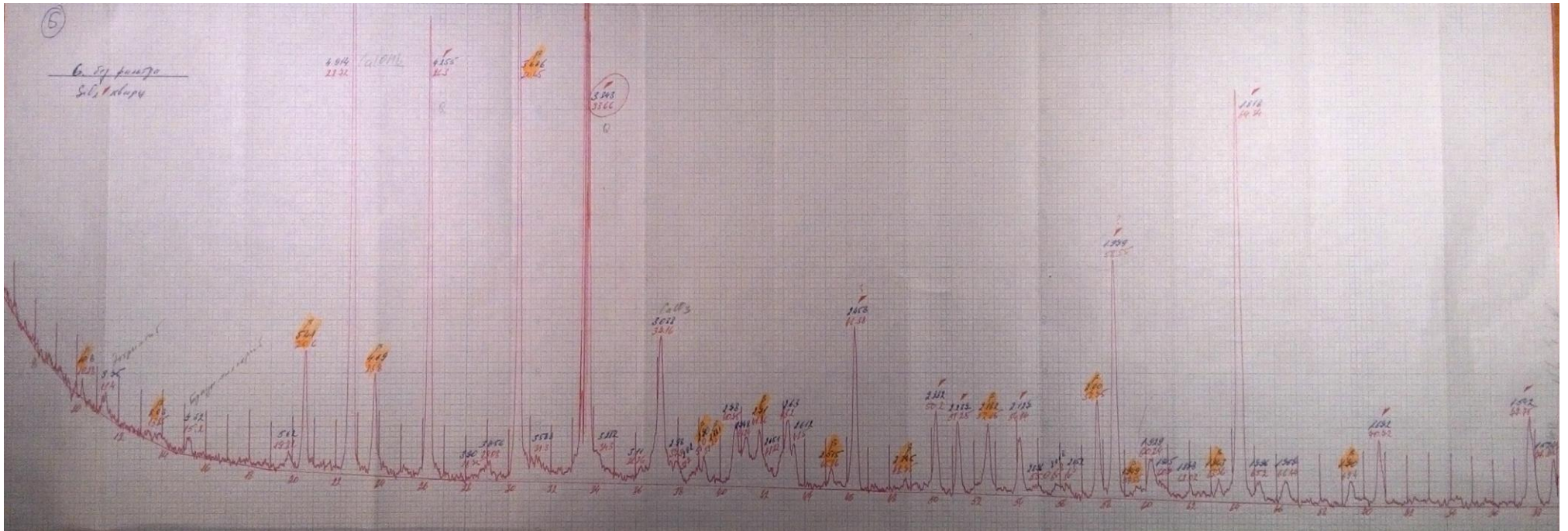


Рис. 4.29 Рентгенограма композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою без наповнювача

а)



б)

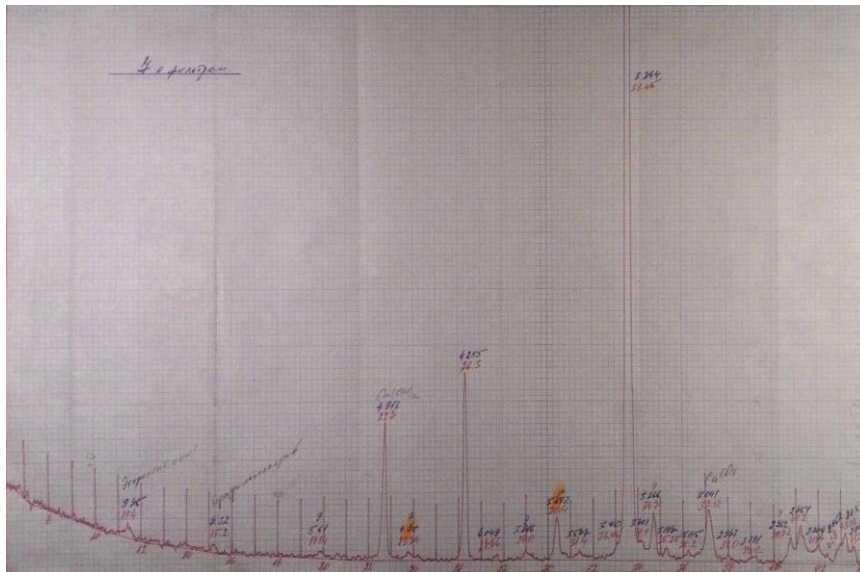


Рис. 4.30 Рентгенограма композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою з графітовим наповнювачем, знята без фільтру (а) та з фільтром (б)

Дифракційні максимуми рентгенограм композиції
на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою
без наповнювача та з графітовим наповнювачем

Композиція без графітового наповнювача		Композиція з графітовим наповнювачем		Сполуки
Дифракційний максимум (міжплоскісна відстань), Å	Інтенсивність дифракційного максимуму	Дифракційний максимум (міжплоскісна відстань), Å	Інтенсивність дифракційного максимуму	
1,524	8,9			
1,767	4,4	1,768	3,2	
1,796	4,2	1,799	2,7	$Ca(OH)_2$
1,878	3,7	1,879	2,5	$CaCO_3$
1,929	7,7	1,912	3,2	$Ca(OH)_2$
2,052	2,7	2,058	2,8	
2,068	2,5			
2,096	2,2	2,093	2,6	$CaCO_3$
		2,361	4,4	
		2,495	2,5	
2,612	8,3	2,611	7,1	
2,63	12,8	2,63	11,5	$Ca(OH)_2$
2,651	7,2	2,655	6,1	$C_2SH(A)$
		2,728	6,4	$CSH(B), C_3S, C_2S$
2,748	9,6	2,751	13,8	
2,78	11,9	2,78	11,5	C_3S
2,92	2,5	2,922	1,7	
2,98	4,5	2,973	3,8	
3,038	28,1	3,036	23,2	$CaCO_3$
3,11	3,4	3,112	4,4	$Ca(OH)_2$
		3,197	4	
		3,24	21	
		3,3	7,7	
		3,34	100	C
3,282	6,3			$C_2SH(A), CAH_{10}$
3,588	5,1			CAH_{10}
3,856	3,8	3,866	3,8	$CaCO_3$
3,9	1,6			ГСАК-3, ГХАК
		4,04	2,6	
		4,08	2,4	
4,914	93,3	4,92	50,9	$Ca(OH)_2$
5,62	3,8	5,6	3	ГСАК-3
7,32	3,3	7,34	2,6	C_4AF
		7,97	2,4	
9,75	4,2	9,75	5,5	ГСАК-3

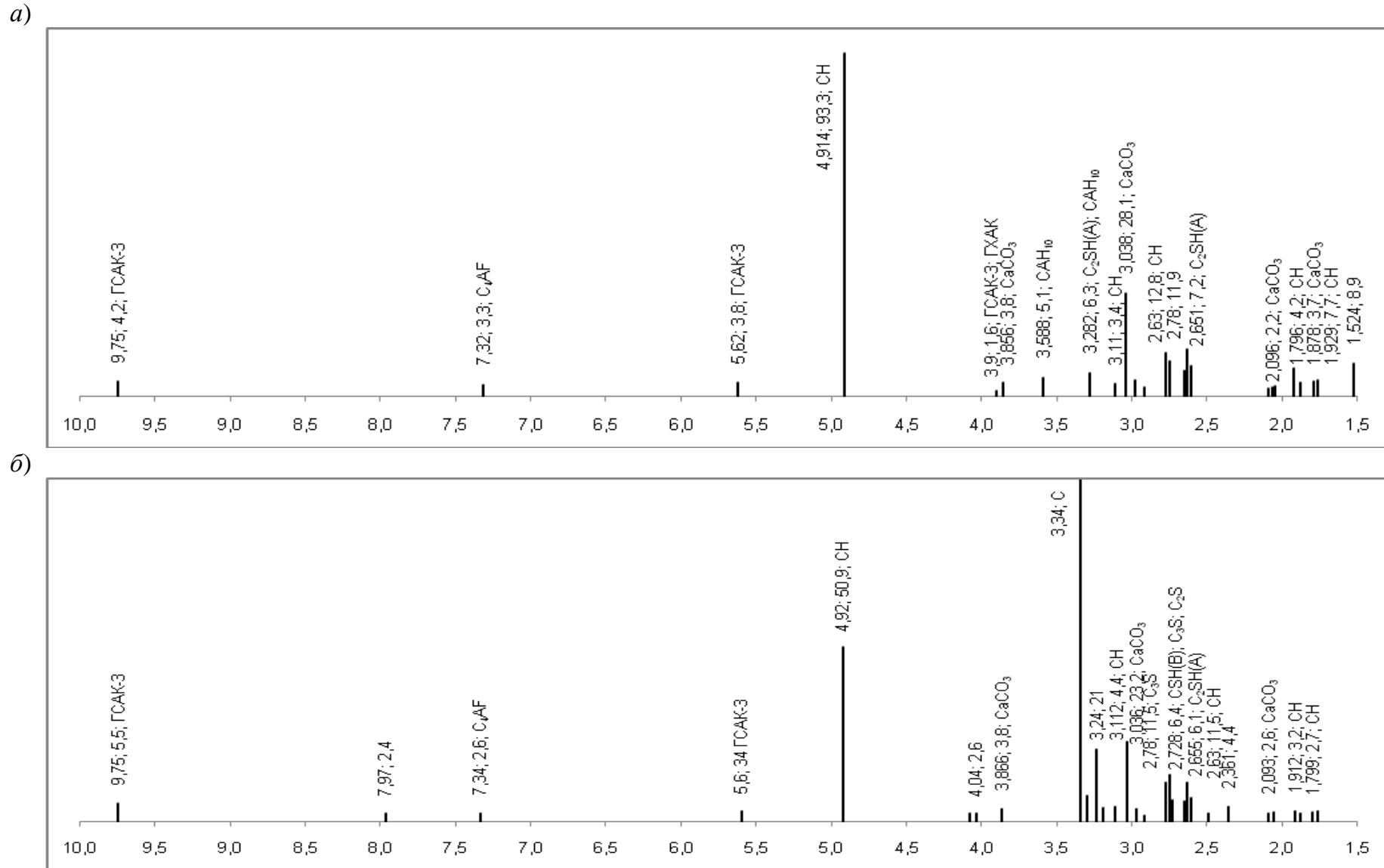


Рис. 4.31 Штрихграми рентгенограм композиції на основі портландцементу та КХД без наповнювача (а) і з графітовим наповнювачем (дифракційні максимуми кварцу не показані)

Рентгенограми композицій без наповнювача і з графітовим наповнювачем в цілому схожі та містять дифракційні максимуми (лінії) основних продуктів гідратації портландцементу. Лінія $3,34 \text{ \AA}$, що з'являється на рентгенограмі композиції з графітовим наповнювачем (рис. 4.30, б), хоча й співпадає з однією з ліній кварцу, належить саме графіту. Зниження в результаті уведення графітового наповнювача інтенсивності ліній портландиту, особливо $4,92 \text{ \AA}$ від 93 до 51 %, свідчить про певне зниження ступеня гідратації цементу. Зниження інтенсивності лінії $2,65 \text{ \AA}$ від 7,2 до 6,1 %, зникнення лінії $2,65 \text{ \AA}$ $C_2SH(A)$, а також поява лінії $2,73 \text{ \AA}$ $CSH(B)$ свідчить про зниження основності гідросилікатів кальцію.

На рис. 4.32 і 4.33 наведено інфрачервоні спектри поглинання композиції на основі портландцементу з КХД без наповнювача (а) та з наповнювачем (б). Для зручності аналізу ІЧ-спектри суміщені на одному полі координат (рис. 4.34).

На ІЧ-спектрах (рис. 4.34) присутні лінії поглинання з хвильовими числами, cm^{-1} , сполук: 3441, 3425, 2920, 2852 – валентних коливань зв'язаних OH -груп всіх гідратів; 2516, 713 (слабкі) – деформаційних коливань груп $Ca-O$ карбонатів; 1630 – валентних коливань молекул H_2O ; 1440 (інтенсивна, наложена на 1477–1479) і 876 (вузька інтенсивна) – валентних коливань зв'язків $Ca-O$ карбонатів; 1083, 1084 (інтенсивна) і 462 – валентних і деформаційних коливань зв'язку $Si-O$ силікатів незалежно від типу кристалічної решітки, а також кварцу. Як бачимо, на ІЧ-спектрах присутні лінії поглинання зв'язків і груп, характерних для продуктів гідратації портландцементу. Спектри мало відрізняються один від одного, тому можна заключити, що графіт не впливає на склад продуктів гідратації портландцементу.

Таким чином, в результаті фізико-хімічних досліджень встановлено, що графіт не бере участь у гідратації цементу і майже не впливає на склад продуктів його гідратації, крім певного зниження ступеня гідратації цементу та основності гідросилікатів кальцію.

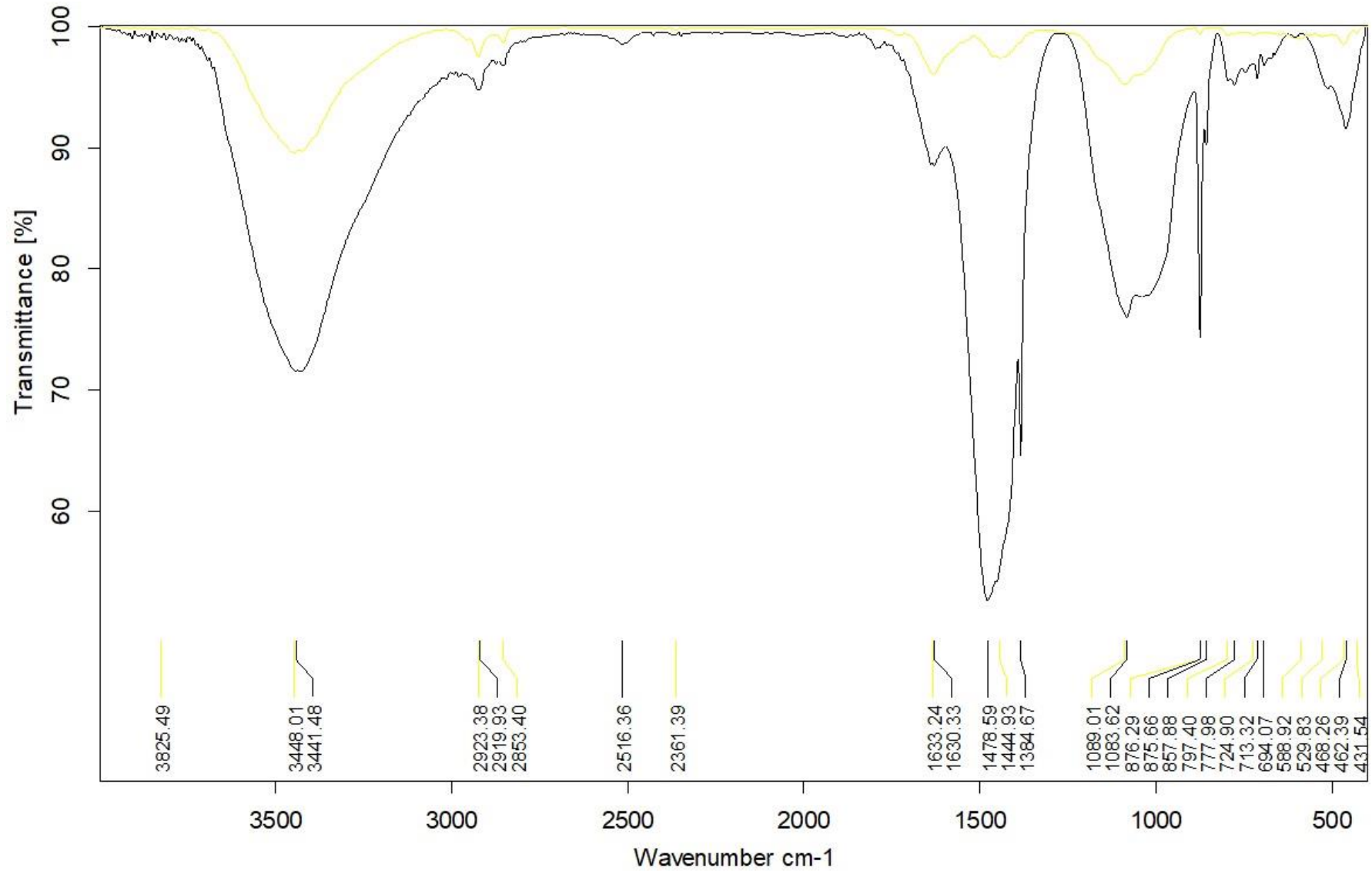


Рис. 4.32 Інфрачервоний спектр поглинання композиції на основі портландцементу

з комплексною хімічною добавкою без наповнювача

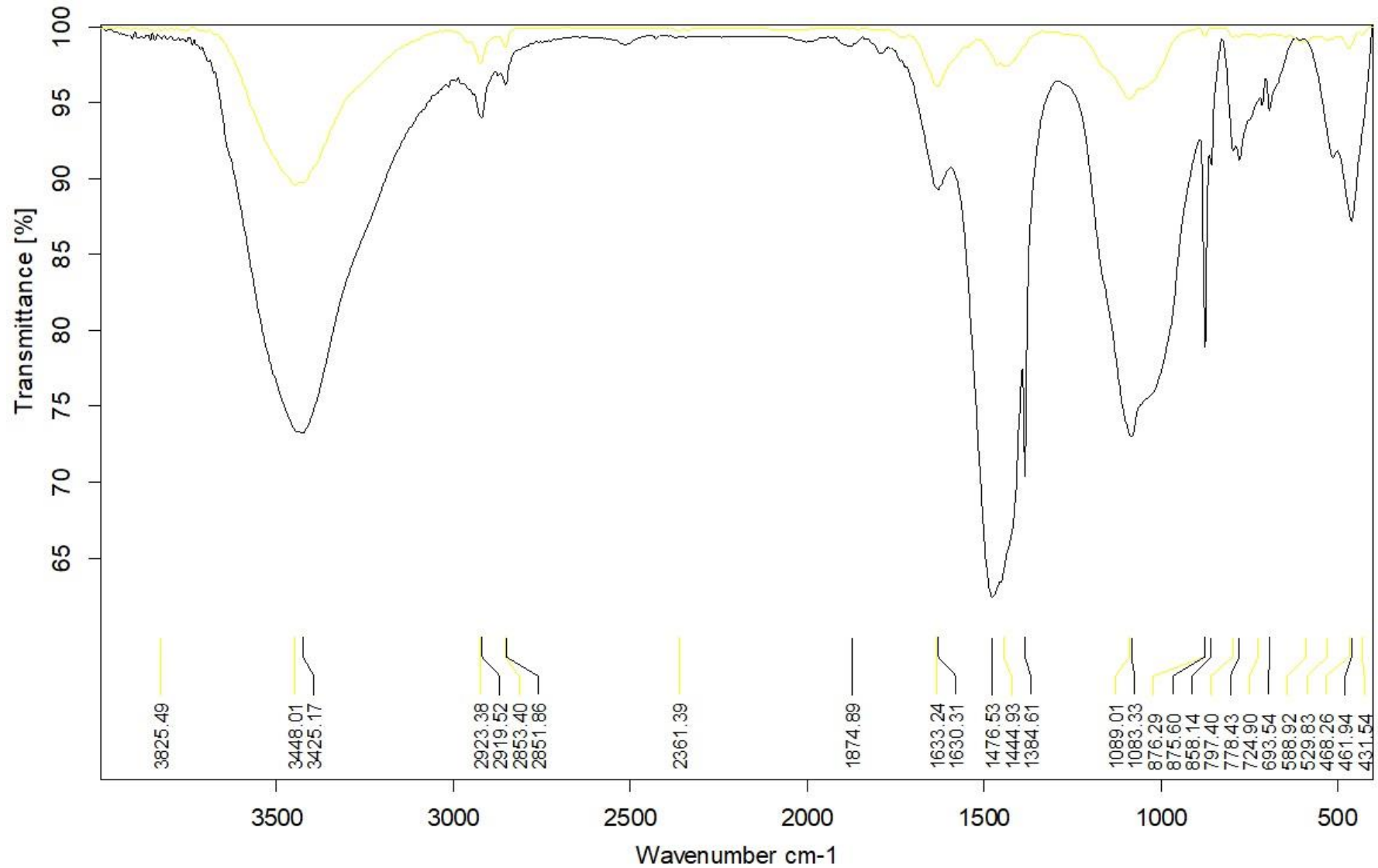


Рис. 4.33 Інфрачервоний спектр поглинання композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем

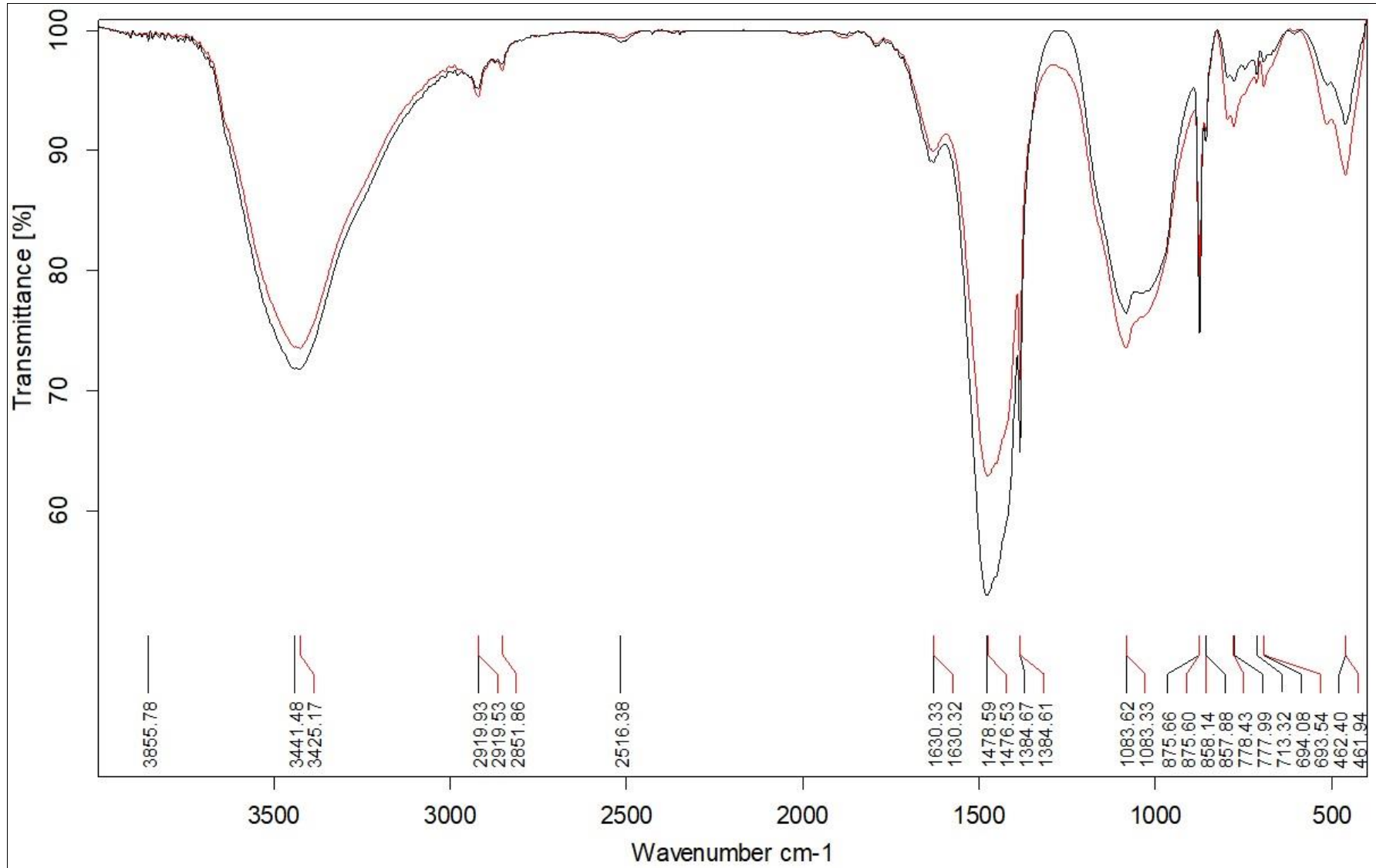


Рис. 4.34 Інфрачервоні спектри поглинання зразків композиції на основі портландцементу та КХД без наповнювача (червоний) і з графітовим наповнювачем (чорний)

4.2.5 Уточнення складу та визначення фізико-механічних та гідрофізичних характеристик електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем

За результатами досліджень, наведених у п. 4.1.2, уточнено склад електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем, наведений у п. 4.1.1. Для композиції обрано графіт марки ГС-1 та його раціональний вміст 10 %. На склад композиції отримано патент на винахід [49].

Виконано випробування композиції уточненого складу. В результаті випробувань встановлені такі характеристики властивостей композиції:

- строки тужавіння:
 - початок – 2 год 12 хв,
 - кінець – 6 год 45 хв;
- водоутримуюча здатність – 98,7 %;
- розшаровуваність – не більше 1,5;
- густина розчинної суміші – 2050 кг/м³;
- границя міцності (за результатами випробувань зразків-балочок розміром 160×40×40):
 - на стиск – 30,5 МПа,
 - на згин – 8,2 МПа;
- зчеплення з поверхнею бетону на відрив – 2,1 МПа;
- морозостійкість (за зразками-кубами з розміром ребра 100 мм із бетону класу В7,5 з нанесеним на всі грані покриттям) – 300 циклів;
- тріщиностійкість до усадкових деформацій у шарі 2–5 мм – тріщини не утворюються;
- водопоглинання – 2 %;
- марка за водонепроникністю за зразками-циліндрами діаметром і вистою 150 мм із бетону класу В7,5 з нанесеним на торцеву грань покриттям товщиною:

- 8–15 мм – 16 атм,

- 2–3 мм – 15 атм.

4.3 Дослідження ефективності заземлених екранів із електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем

Дослідження виконано за методикою, розробленою у складі теоретичних досліджень і наведеною у п. 3.4. Результати досліджень представлені у табл. 4.9 і на рис. 4.35–4.38, зокрема, залежності від часу з моменту водонасичення ґрунту t за різних відсотків площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном із електропровідної композиції x наведені: сили струму крізь арматуру і бетон моделі $I_{аб}$ – на рис. 3.34, *а*, 3.35, *а*; сили струму крізь захисний екран $I_{зе}$ – на рис. 3.34, *б* і 3.35, *б*; зміни сили струму крізь арматуру і бетон моделі із захисними екранами у порівнянні з моделлю без захисту $\Delta I_{аб}$ – на рис. 3.36, *а*. На рис. 3.36, *б* наведені залежності сили струму $I_{аб}$ та $I_{зе}$ від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном x .

Як бачимо із рис. 4.35, 4.36, 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, так і у моделі із захисним екраном. Після водонасичення ґрунту сила струму зростає на три порядки. Як видно із графіків, захист заземленим екраном забезпечує зниження сили струму крізь бетон і арматуру моделі $I_{аб}$ за рахунок протікання частини струму $I_{зе}$ крізь захисний екран. У порівнянні з моделлю без захисту величина струму, що протікає крізь неї, менше на 49–66 %.

Таким чином, захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з ним – зі збільшенням цього відсотку сила струму $I_{аб}$ знижується, а $I_{зе}$ зростає (рис. 4.37, 4.38). 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 %. Раціональною величиною цього показника можна вважати 4 %,

після досягнення якого збільшення захисних властивостей уповільнюється (рис. 4.38). Це підтверджує ефективність заземлених екранів для захисту конструкцій, наприклад, пасажирських платформ, від корозії струмами витоку.

Таблиця 4.9

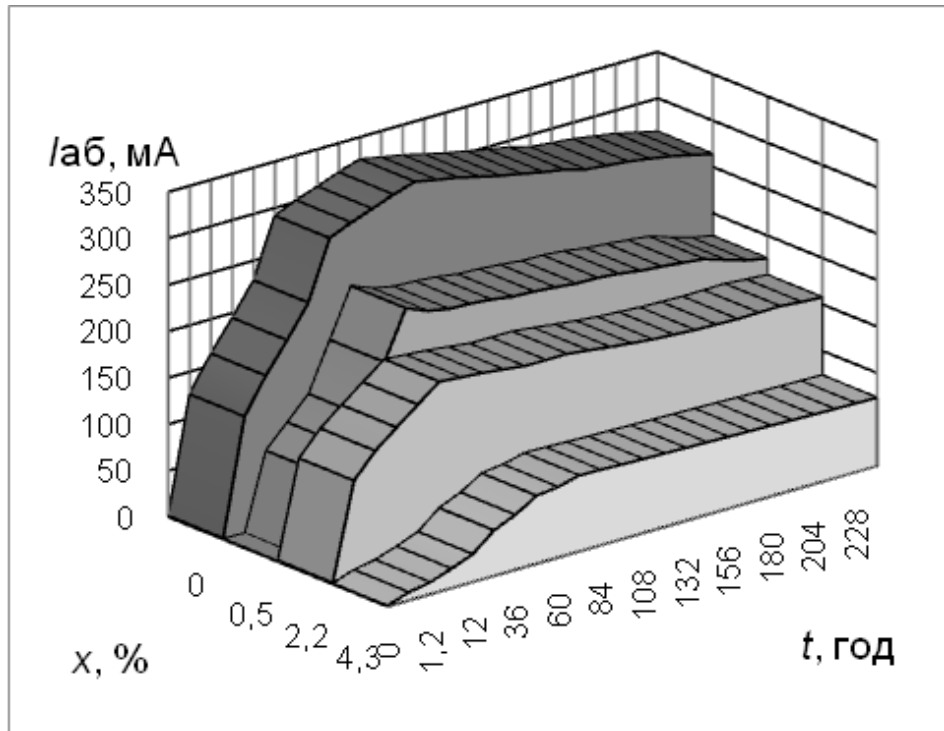
Результати дослідження ефективності заземлених екранів із електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем

Відсоток площі контакту сталевго електроду заземлення з екраном x , %	Стан ґрунту	Час, год	Сила струму крізь арматуру і бетон $I_{аб}$ і крізь захисний екран $I_{зе}$, мА, зниження сили струму крізь арматуру і бетон за рахунок застосування екрану $\Delta I_{аб}$, %								
			контрольний без екрану	з захисним екраном на зразку №:							
				1		2		сер.		$\Delta I_{аб}$	
				$I_{аб}$	$I_{зе}$	$I_{аб}$	$I_{зе}$	$I_{аб}$	$I_{зе}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0,5	сухий	0	0,181	0,953	0,043	0,352	0,002	0,653	0,022	260,5	
	через час після водонасичення ґрунту	0	0,026	0,033	0,002	0,036	0,196	0,035	0,099	35,2	
		1,5	66,5	85,7	5,82	79,6	5,86	82,7	5,84	24,3	
		6	112	109	5,71	104	5,05	107	5,38	-4,9	
		12	165	133	5,57	128	5,21	131	5,39	-20,9	
		24	268	184	4,70	180	4,53	182	4,62	-32,1	
		36	261	243	5,10	224	4,93	234	5,02	-10,5	
		48	253	227	5,60	221	5,40	224	5,50	-11,5	
		60	255	221	5,50	218	5,26	220	5,38	-13,9	
		72	256	219	5,50	218	5,10	219	5,30	-14,6	
		84	250	218	5,30	215	5,06	217	5,18	-13,4	
		96	246	214	5,10	212	5,02	213	5,06	-13,4	
		108	241	213	4,80	211	4,98	212	4,89	-12,0	
		120	236	211	4,50	209	4,34	210	4,42	-11,0	
		132	234	208	4,30	207	4,21	208	4,26	-11,3	
		144	230	208	4,10	206	3,98	207	4,04	-10,0	
		156	224	207	4,00	203	3,82	205	3,91	-8,5	
		168	211	204	3,90	199	3,73	202	3,82	-4,5	
		180	210	201	3,80	198	3,33	200	3,57	-5,0	
		192	209	198	3,70	196	3,20	197	3,45	-5,7	
		204	207	196	3,60	193	3,02	195	3,31	-6,0	
216	205	188	3,50	186	3,02	187	3,26	-8,8			
228	202	181	3,30	179	2,96	180	3,13	-10,9			
240	200	176	3,20	175	2,90	176	3,05	-12,3			

Кінець таблиці 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2,2	Сухий	0	0,052	1,41	1,11	1,71	1,45	1,560	1,280	2900
	через час після водонасичення грунту	0	304,1	102,7	129,5	106,9	137,2	104,8	133,4	-65,5
		1	310,5	125	149,3	135,7	167	130,4	158,2	-58,0
		6	327,2	145,7	152,1	152,3	169,4	149	160,8	-54,5
		12	343,3	164,2	154,3	169,8	171,8	167	163,1	-51,4
		24	361	184,7	156,2	185,4	174,2	185	165,2	-48,7
		36	360,4	183,8	145,9	182,3	177,5	183	161,7	-49,2
		48	359,1	182,3	135,1	180	160,5	181	147,8	-49,6
		60	358,7	179,2	134	177,8	153	179	143,5	-50,2
		72	358,2	175,9	132,9	175	145,5	175	139,2	-51,0
		84	356,7	176,3	130,3	174,5	139,9	175	135,1	-50,8
		96	355,5	177,2	128,5	173,8	135,7	176	132,1	-50,6
		108	348,3	174,3	123,2	170,9	131,8	173	127,5	-50,4
		120	342,5	171,4	118,4	168	128,2	170	123,3	-50,5
		132	337,8	169,1	115,2	165,1	124,1	167	119,7	-50,5
		144	332,5	167,2	112,7	162,2	119,5	165	116,1	-50,5
		156	332,4	166,3	110,1	160,3	116,1	163	113,1	-50,9
		168	332,5	165,4	107,5	158,1	112,8	162	110,2	-51,4
		180	331,9	164,9	106,8	157,3	111,5	161	109,2	-51,5
		192	331,2	164,3	106,1	156,5	110,1	160	108,1	-51,6
		204	329,2	164,5	105,6	156,9	109,6	161	107,6	-51,2
216	326,3	164,7	105,1	157,4	109,1	161	107,1	-50,6		
228	319,6	162,9	102,7	155,3	106,2	159	104,5	-50,2		
240	311,5	161,4	100,5	153,7	103,3	158	101,9	-49,4		
4,3	сухий	0	3,7	0,78	2,5	0,82	3,2	0,800	2,9	-78,4
	через час після водонасичення грунту	0	73,3	8,5	58,4	9,1	63,6	8,8	61,0	-88,0
		1	112,3	12,6	96,2	13,2	100,6	12,9	98,4	-88,5
		6	145,2	21,2	118,4	20,8	122,3	21	120,4	-85,5
		12	177,4	30,4	142,4	29,6	138,8	30	140,6	-83,1
		24	245,8	48,5	191,4	49,74	197,8	49	194,6	-80,0
		36	283,4	59,7	215,2	58,6	217,8	59	216,5	-79,1
		48	317,6	71,2	238,6	75,25	249,4	73	244,0	-76,9
		60	342,2	75,2	262,5	76,8	266,3	76	264,4	-77,8
		72	363,7	80,9	286,7	82,7	293,1	82	289,9	-77,5
		84	357,4	80,5	261,3	82,1	263,4	81	262,4	-77,3
		96	350,3	79,8	238,4	81	240,9	80	239,7	-77,0
		108	345,2	79,1	218,7	80,4	226,4	80	222,6	-76,9
		120	339,8	78,5	199,3	79,9	208,2	79	203,8	-76,7
		132	333,2	77,9	178,4	79,2	190,1	79	184,3	-76,4
		144	328,1	77,4	159,2	78,6	173,2	78	166,2	-76,2
		156	322,4	76,7	140,8	78,1	162,2	77	151,5	-76,0
		168	316,2	76,1	118,4	77,6	141,3	77	129,9	-75,7
		180	311,1	75,5	100,8	77	118,4	76	109,6	-75,5
		192	305,8	74,8	85,3	76,3	102,7	76	94,0	-75,3
		204	299,2	74,2	72,4	75,6	96,3	75	84,4	-75,0
216	292,8	73,7	60,2	75,1	78,4	74	69,3	-74,6		
228	286,5	73,1	48,4	74,8	59,3	74	53,9	-74,2		
240	280,1	72,8	40,7	74,2	52,1	74	46,4	-73,8		

а)



б)

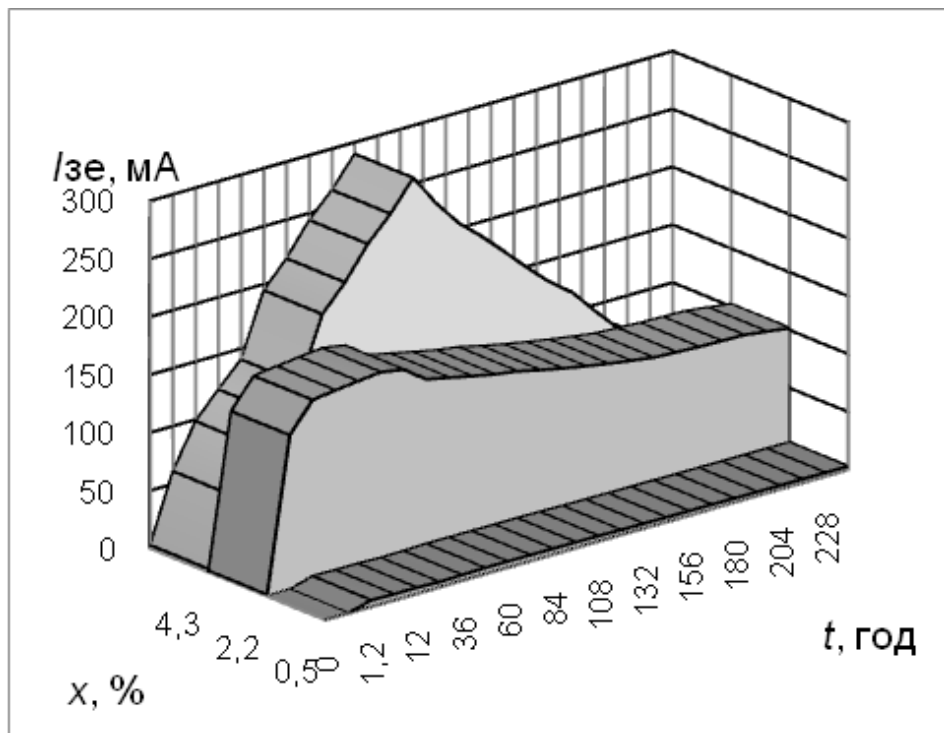
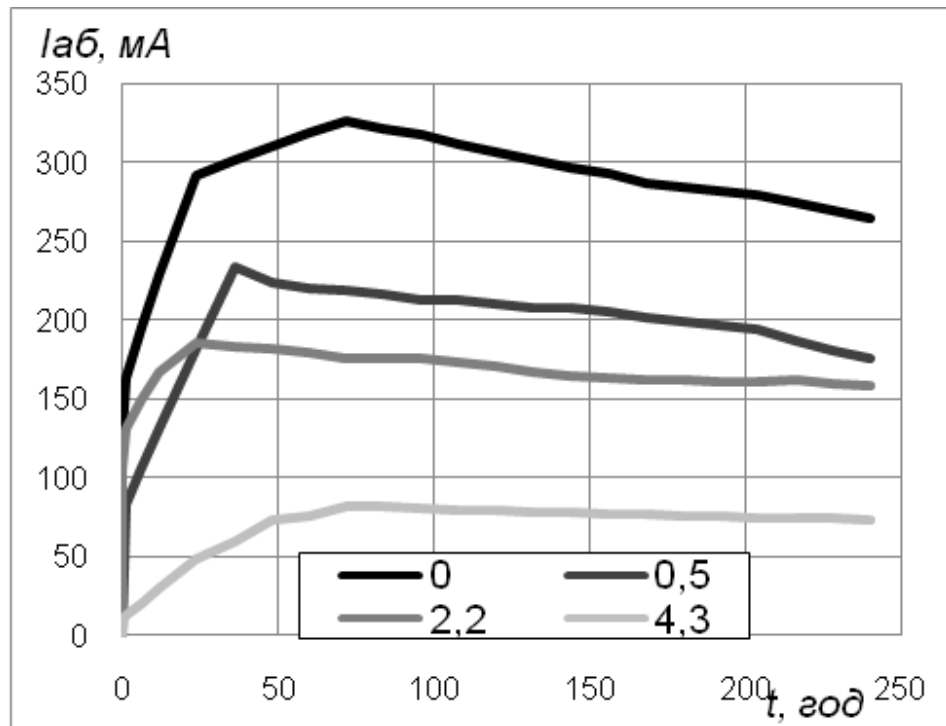


Рис. 4.35 3D-модель залежності сили струму крізь арматуру і бетон моделі $I_{аб}$ (а) та крізь захисний екран $I_{зе}$ (б) за різних відсотків площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном x (0 – без захисного екрану; 0,5; 2,2; 4,3) від часу з моменту водонасичення ґрунту t

в)



з)

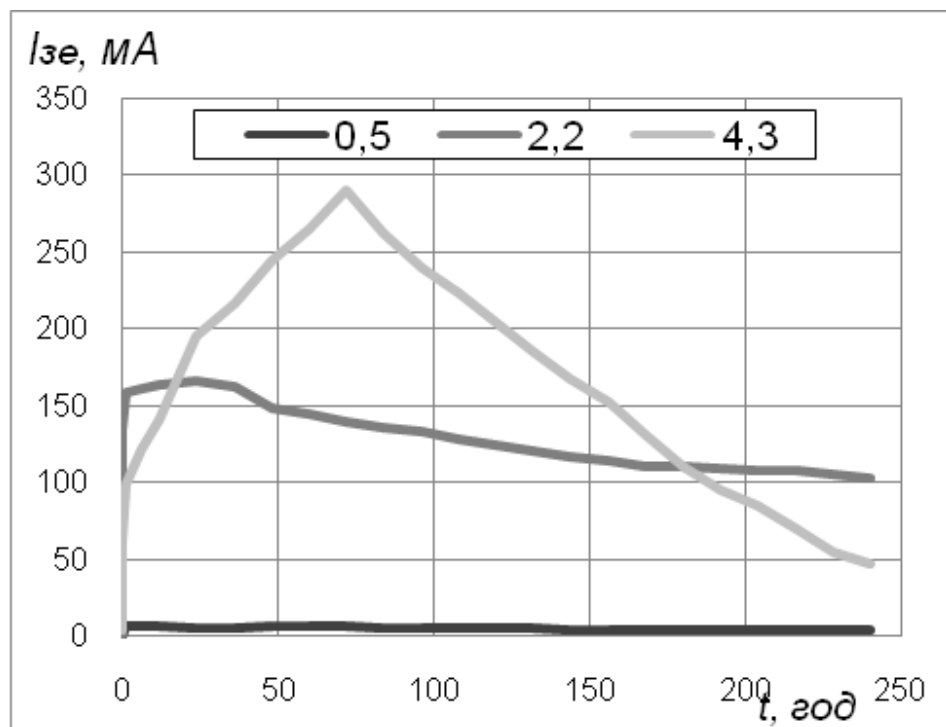
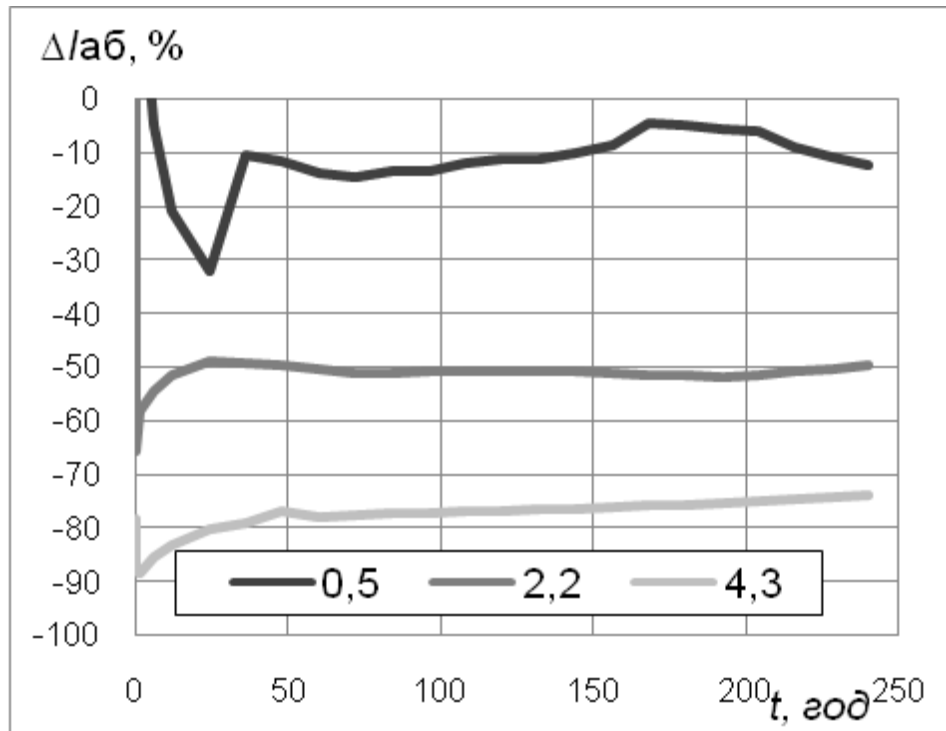


Рис. 4.36 Залежність сили струму крізь арматуру і бетон моделі $I_{аб}$ (а) та крізь захисний екран $I_{зе}$ (б) за різних відсотків площі контакту сталевого електроду заземлення з екраном x (0 – без захисного екрану; 0,5; 2,2; 4,3) від часу з моменту водонасичення ґрунту t

д)



е)

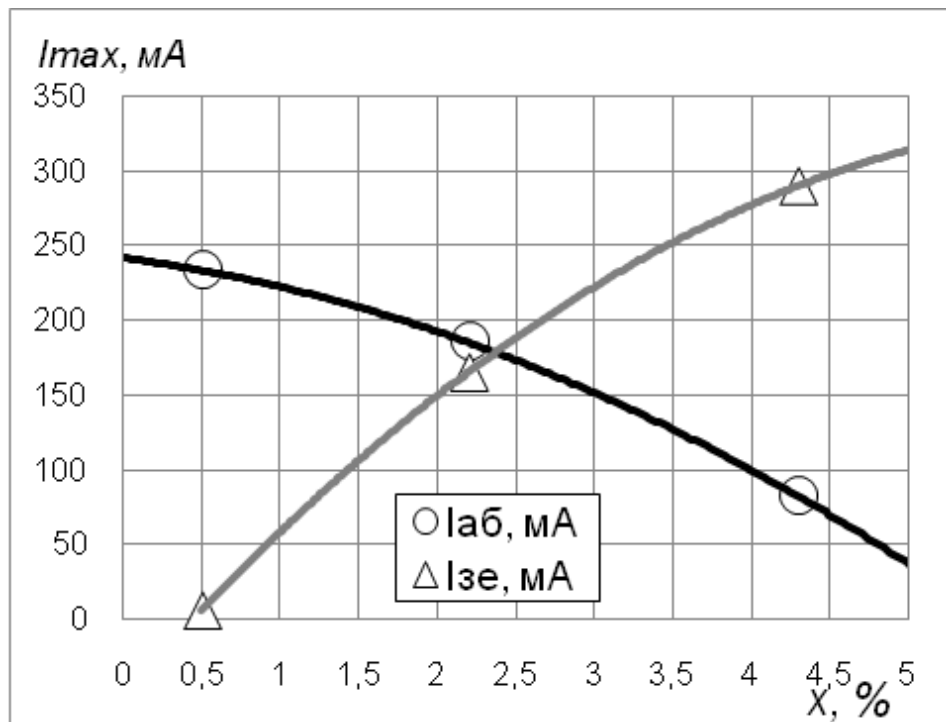


Рис. 4.37 Залежності показників ефективності заземлених екранів із електропровідної композицій на основі портландцементу: а – зміни сили струму крізь арматуру і бетон моделі $\Delta I_{аб}$ від часу з моменту водонасичення ґрунту t для різних величин відсотку площі контакту електроду заземлення з екраном x (0 – без захисного екрану; 0,5; 2,2; 4,3); б – $I_{аб}$ та $I_{зе}$ від відсотку площі контакту електроду заземлення з екраном x

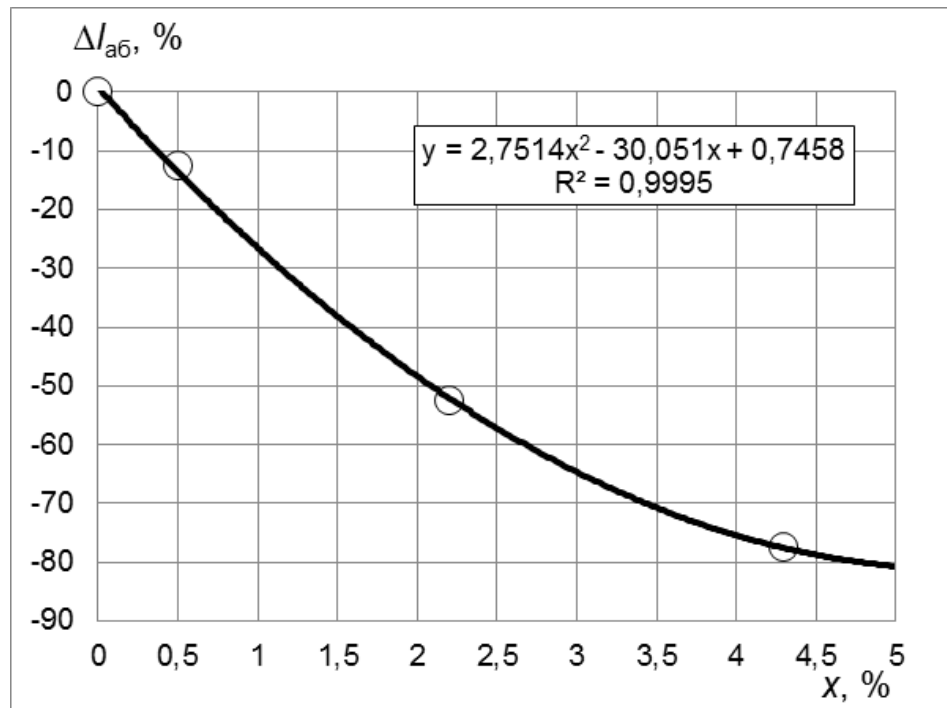


Рис. 4.38 Залежність зміни сили струму крізь арматуру і бетон моделі $\Delta I_{аб}$ від відсотку площі контакту електроду заземлення з екраном x

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Досліджено залежності питомого електричного опору композицій на основі електропровідних наповнювачів – порошків алюмінію, заліза, міді, цинку, вуглецю та матриці із силікату натрію. Встановлено, що питомий електричний опір композиції з графітовим наповнювачем на три порядки нижчий, ніж композицій з металевими наповнювачами. Це пояснено утворенням на поверхнях металевих часток гідроксидних плівок, що створюють високий перехідний опір.

2. В результаті мікроскопічних досліджень встановлено, що металеві наповнювачі у композитах схильні до коагуляції в агрегати, а прошарки матриці між ними мають товщину, порівнянну з розмірами самих агрегатів. Графітовий наповнювач, навпаки, розподілений по матриці рівномірно, про що свідчить набагато більш однорідна структура композиту. Товщина прошарків матриці між окремими частинками графітового наповнювача порівнянна з

розмірами цих частинок, що сприяє набагато меншому електричному опору композитів з ним у порівнянні з композитами з металевими наповнювачами.

3. В результаті досліджень електропровідних композицій з графітовим наповнювачем та матрицею із силікату натрію встановлено, що вони характеризуються низькою водостійкістю – їх коефіцієнт розм'якшення не перевищує 0,2 та є нестійким в атмосферних умовах.

4. Як основу для композиції на основі портландцементу обрано гідроізоляційну композицію проникної дії, яка складається із портландцементу, кварцового піску та хімічно активної добавки. Для підвищення її електропровідності запропоновано змінити її склад, зокрема, замінити частину піску графітовим наповнювачем або додати його у композицію.

5. Досліджено залежності фізико-механічних, гідрофізичних, електрофізичних властивостей композицій на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою від вмісту графітових наповнювачів. В результаті досліджень:

- підтверджено коректність розробленої моделі для прогнозування питомого електричного опору композиту за даними про питомий електричний опір його компонентів і узагальненими характеристиками його складу;
- встановлено, що зі збільшенням вмісту графітового наповнювача ГН/ЦК від 0 до 10–15 % величина питомого електричного опору знижується. Подальше збільшення ГН/ЦК не забезпечує суттєвого зниження електричного опору, отже, досягається перколяція. Найбільше зниження електричного опору забезпечує графіт марки ГЛ-1, проте внаслідок лускатої структури його зерен він обумовлює зниження міцності, водостійкості, водопоглинання, тому для електропровідної композиції обрано графіт марки ГС-1 та його раціональний вміст 10 %;
- встановлено, що водонасичення композиції забезпечує зниження її питомого електричного опору у 20 разів до величин 2,8 Ом×м, що є актуальним саме для захисних екранів, які мають забезпечувати дренажування струмів витоку, що збільшуються до небезпечних величин саме у вологу погоду.

6. В результаті фізико-хімічних досліджень встановлено, що графіт не бере участь у гідратації цементу і майже не впливає на склад продуктів його гідратації крім певного зниження ступеня гідратації цементу та основності гідросилікатів кальцію.

7. За результатами досліджень уточнено склад електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем. Встановлені її властивості: границя міцності на стиск – 30,5, на згин – 8,2 МПа; зчеплення з бетоном – 2,1 МПа; морозостійкість – 300 циклів; водопоглинання – 2 %; марка за водонепроникністю 12–16 атм. Підтверджено її тріщиностійкість. На склад композиції отримано патент на винахід.

9. В результаті досліджень ефективності заземлених захисних екранів із електропровідної композиції на основі портландцементу, комплексної хімічної добавки та графітового наповнювача встановлено:

- захисні властивості екрану залежать від відсотку площі контакту сталевого електроду заземлення з ним – зі збільшенням цього відсотку сила струму $I_{аб}$ знижується, а $I_{зе}$ зростає;

- 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 %, що підтверджує ефективність заземлених екранів для захисту конструкцій, наприклад, пасажирських платформ, від корозії струмами витоку.

РОЗДІЛ 5

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Склад електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії

Склад електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії наведено у п. 4.2.4. Склад композиції захищено Патентом на винахід (додаток А) [49]. Склад композиції прийнято до впровадження ТОВ «Віа-Телос».

5.2 Технологія виробництва електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії

Вимоги до електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії та ремонту мають бути уточнені на стадії оцінки технічного стану об'єкта та розробки проектної документації. У разі задовільного стану і щільності бетону конструкції вміст комплексної хімічної добавки може бути зменшений з 5 до 2,5 %. У разі більш пошкодженого менш щільного бетону вміст КХД може бути збільшений з 5 до 7,5 %. У разі відсутності електрокорозійного впливу (на ділянках з негативним потенціалом на рейках поблизу відсмоктуючих ліній) графітовий наповнювач може не застосовуватись.

Розроблено й апробовано технологічні схеми виготовлення сумішей електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії та ремонту. Схеми наведені на рис. 5.1. Схеми розроблено в залежності від потрібної продуктивності виробництва у двох варіантах: для

продуктивності до 1 т/зміну (рис. 5.1, а) і понад 1 т/зміну (рис. 5.1, б). Більш продуктивний варіант відрізняється подвійною кількістю вагового обладнання.

Згідно з цими схемами виробництво суміші здійснюється у такому порядку:

- 1) підготування основних компонентів – сушка піску, завантаження у бункери цементу, піску і графітового порошку; всі компоненти мають бути сухими з відносною вологістю не більше 0,1%;
- 2) приготування комплексної хімічної добавки – дозування та змішування компонентів;
- 3) приготування сухої суміші – дозування та змішування цементу, піску, графітового порошку і комплексної хімічної добавки;
- 4) фасування сухої суміші у мішки 25 кг із вологонепроникного паперу;
- 5) складування сухої суміші у мішках, відвантаження споживачу.

Для забезпечення якості продукції розроблено систему контролю якості, яка включає:

- вхідний контроль якості матеріалів,
 - поопераційний контроль технологічних процесів,
 - вихідний контроль якості готової продукції
- на відповідність вимогам нормативних документів і технологічного регламенту.

Розроблені параметри контролю якості матеріалів і готової продукції, наведені у табл. 5.1.

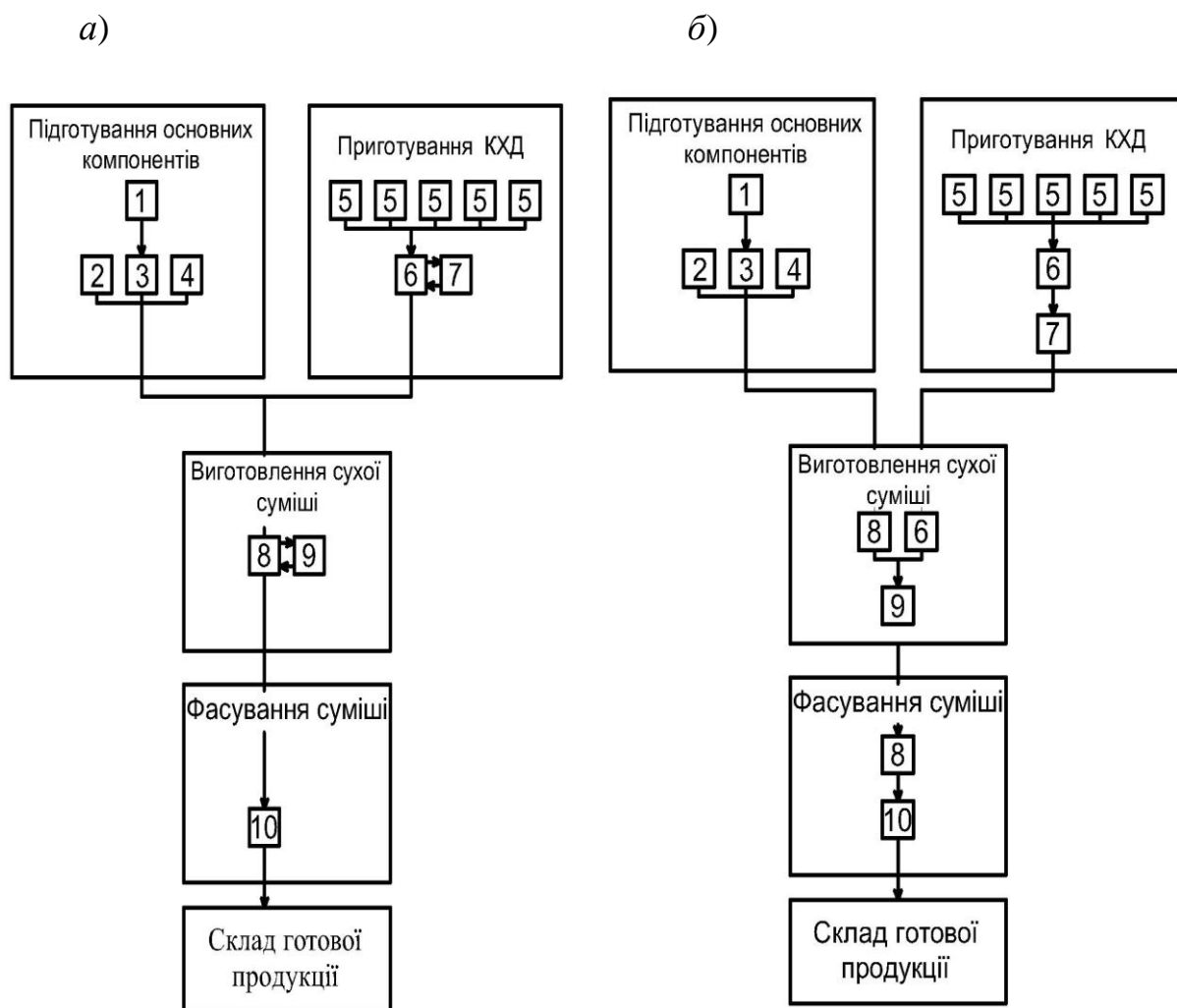


Рис. 5.1. Технологічні схеми виготовлення сумішей електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем: *а* – для продуктивності виробництва до 0,5 т/зміну; *б* – для продуктивності виробництва понад 0,5 т/зміну; 1 – сушарка піску; 2 – бункер для цементу; 3 – бункер для піску; 4 – бункер для графітового порошку; 5 – бункери для компонентів КХД; 6 – дозатор (ваги) 5 кг; 7 – змішувач 10 л; 8 – дозатор (ваги) 100 кг; 9 – змішувач 0,25 м³; 10 – пакувальна машина

Параметри контролю якості матеріалів і готової продукції

Найменування матеріалу	Місце відбору проб	Контрольований параметр		Метод випробування, чинний нормативний документ	Періодичність випробувань
		найменування	величина		
Вхідний контроль якості матеріалів					
Портландцемент ПЦ І-500 або ПЦ ІІ-А/Ш-500 ДСТУ Б В.2.7-46	Бункер для цементу	Міцність на стиск	не менше 50 МПа	Стандартний руйнівний за ДСТУ Б В. 2.7-187	Кожна партія цементу
Пісок кварцовий ДСТУ Б В.2.7-32 з модулем крупності 1,2–1,5	Бункер для піску	Наявність пилюватих, глинистих і мулистих частинок	Не більше 2 %	Відмулювання за ГОСТ 8735	Кожна партія піску
		Вміст зернин більших 0,63 мм	Не більше 5 %	Ситовий аналіз за ГОСТ 8735	
		Вологість	Не більше 1 %	Висушування і зважування за ГОСТ 8735	
Графітовий порошок	Бункер для графіту	Вміст частинок більших 0,2 мм	не більше 1 %	Сито 02, ваги електронні	Кожна партія графіту
Хімічні добавки – компоненти КХД	Ємкості для хімічних добавок	Вміст частинок більших 0,2 мм	не більше 0,01%	«	Кожна партія добавки
Вихідний контроль якості готової продукції					
Готова суха суміш	Змішувач	Вологість	не більше 1 %	Висушування і зважування за ГОСТ 8735	1 раз у зміну
		Міцність на стиск	не менше 20 МПа	Стандартний руйнівний за ДСТУ Б В. 2.7-187	
		Міцність зчеплення з основою	не менше 2 МПа	Відриву штампку за ДСТУ Б В.2.7-126	

Розроблено технологічний регламент виробництва з вказівками щодо застосування електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії. Технологічний регламент наведено у додатку Б.

ТОВ «Віа-Телос» згідно з технологічним регламентом виготовлено дослідну партію сухої суміші композиції у кількості 0,5 т (додаток В).

5.3 Конструктивно-технологічне рішення екранного захисту пасажирських платформ від електрокорозії

За особистою участю автора проведено натурні обстеження пасажирських платформ на 31 станції та зупинчному пункті на електрифікованих ділянках залізниць. За результатами обстеження здійснено систематизацію пошкоджень високих пасажирських платформ відповідно до класифікації пошкоджень залізобетонних конструкцій. Результати досліджень і класифікацію пошкоджень наведено у п. 1.2.3. За результатами натурних обстежень і теоретичних досліджень (п. 3) розроблено критерій вибору варіанту конструктивно-технологічного рішення ремонту і захисту від електрокорозії опор платформ:

1) якщо пошкодження опор не спричиняють зниження несучої здатності, але обумовлюють зниження довговічності за рахунок подальшого розвитку, має обиратись варіант ремонту поверхні та екранного захисту за допомогою електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем;

2) якщо пошкодження опори спричиняють зниження несучої здатності на момент обстеження, має обиратись варіант ремонту з відновленням несучої здатності – металоін'єкційною сорочкою з її заземленням для захисту від електрокорозії;

3) якщо пошкодження опори спричиняють повну втрату несучої здатності на момент обстеження, опора підлягає повній заміні новою конструкцією.

Відповідна цим критеріям схема вибору способу ремонту і захисту опор

високих пасажирських платформ в залежності від характеру пошкоджень наведена на рис. 5.2. Ці рішення наведені у Рекомендаціях, розроблених для «Укрзалізниці» (додаток Г).



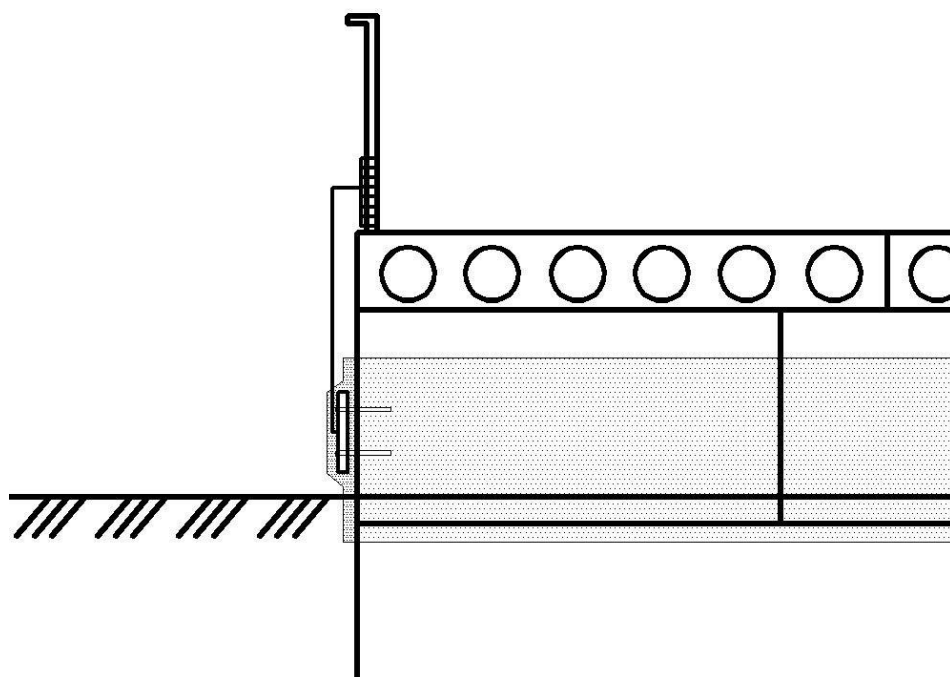
Рис. 5.2 Схема вибору способу ремонту і захисту опор високих пасажирських платформ від характеру пошкоджень

5.4 Порядок застосування електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії

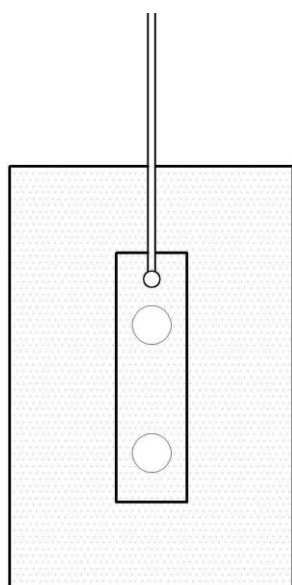
Електропровідну композицію на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем застосовують для екранного захисту від електрокорозії конструкцій пасажирських платформ на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом у складі конструктивно-технологічних рішень, розроблених у п. 3.2 і наведених на схемах рис. 3.8.

Характеристику, від якої залежить ефективність екрану, – частку площі контакту електроду заземлення з екраном від загальної площі екрану, згідно з результатами дослідження, наведеними у п. 4.3, прийняли рівною 4 %. Розроблено вузол сполучення електроду заземлення з екраном, який наведено на рис. 5.2. Сполучення здійснюється за допомогою сталеві перфорованої (для забезпечення зчеплення з композицією) пластини товщиною 5 мм, площа якої має складати 4 % від загальної площі екрану за проектом.

а)



б)



в)

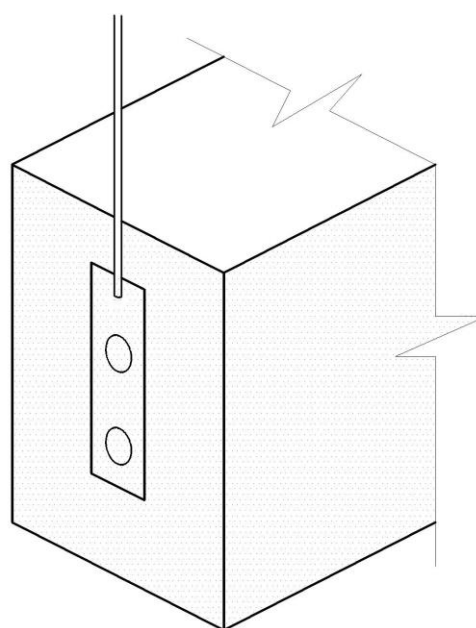


Рис. 5.3 Вузол сполучення електроду заземлення з екраном: а – загальний вигляд; б – варіант з різьбовим кріпленням провідника заземлення до пластини; в – варіант з кріпленням провідника заземлення до пластини зварюванням

Улаштування екранів здійснюють за температури повітря не менше: середньодобової – 10°C, мінімальної протягом доби – 5°C.

Перед улаштуванням екранного захисту навколо опори видаляють ґрунт на глибину 150 мм, її поверхню, на якій згідно проекту улаштовується екран, очищують від нещільного пошкодженого шару, бруду та промивають водою.

На торцеву грань опори з боку, протилежного рейковій колії, прикріплюють сполучну пластину анкерами, туго забитими у попередньо просвердлені отвори. Анкери мають бути уварені в пластину до її встановлення. Під пластину безпосередньо перед її установленням на опору наносять шар електропровідної композиції товщиною 7–10 мм.

До пластини за допомогою зварювання (рис. 5.3, б) або різьбового з'єднання (рис. 5.3, в) прикріплюють провідник із сталевого дроту діаметром 8 мм, який приєднують до заземлених відповідно рис. 3.1 металевих перил платформи.

Суху суміш композиції замішують водою, забезпечуючи водотверде відношення 0,15-0,17. Для цього суміш поступово засипають у ємкість об'ємом 10–15 л з попередньо дозованою водою, постійно перемішуючи її за допомогою низькообертової електродрилі з насадком-міксером. Перемішування здійснюють протягом не менше 5 хвилин до візуальної однорідності.

Суміш наносять на попередньо змочену водою поверхню опори, згідно проекту, шаром товщиною 7–10 мм, у т.ч. на поверхню сполучної пластини, прийомами штукатурних робіт. Після нанесення композиції протягом 3 діб за нею здійснюють вологий ухід, змочуючи її протягом дня 1 раз на 3 години, та укриваючи від прямих сонячних променів.

5.5 Дослідно-промислове впровадження екранного захисту конструкцій пасажирських платформ від електрокорозії

На додаток до раніше проведених обстежень пасажирських платформ (п. 1.2.3) було досліджено технічний стан високих платформ з опорами із залізо-бетонних стояків та ригелів на з.п. Науковий, Карачівка, Високий, Верещаки-

вка та з опорами із бетонних блоків на з.п. Липовий Гай, Високий, Артемівка Південної залізниці. Більшість опор мають характерні електрокорозійні пошкодження – утворення тріщин у залізобетонних стояках на рівні землі, руйнування бетону опор із блоків. Для дослідного впровадження електропровідної композиції обрано опори платформ на з. п. Артемівка та Високий (рис. 5.4).

Згідно з розробленими критеріями вибору конструктивно-технологічного рішення ремонту і захисту для опор, наведених на рис. 5.4, *а*, *б*, має бути обраний ремонт поверхні із захистом заземленим екраном із електропровідної композиції на основі портландцементу, комплексної хімічної добавки та графітового наповнювача (рис. 3.8, 5,3), для опори, наведеної на рис. 5.4, *б* – ремонт із захистом за допомогою металоін'єкційної сорочки, для опори, наведеної на рис. 5.4, *с* – заміна зруйнованої опори новою конструкцією (на знімку тимчасові нові опори вже встановлені).

У дослідному порядку згідно з рекомендаціями, наведеними у додатку Г, було виконано ремонт і захист від електрокорозії опори високої пасажирської платформи з. п. Водяне Південної залізниці. Опора виконана із бетонних блоків і на час обстеження мала суттєві пошкодження у вигляді руйнування бетону з боку, протилежного рейковій колії аж до «зависання» плит покриття платформи (рис. 1.9, *в*). Причинами пошкодження встановлено електрокорозійне вилуговування бетону у сполученні з розморожуванням.

Для випадку руйнування опорної частини блока під плитами покриття обрано варіант сполучення відновлення несучої здатності опори металоін'єкційною сорочкою-півобоймою із захистом від електрокорозії (рис. 5.5). Конструкція та зовнішній вигляд сталеві оболонки металоін'єкційної сорочки наведено на рис. 5.6. Оболонка виконується із листової сталі товщиною 3 мм.

Роботи за особистою участю автора виконано у такому порядку:

- підготовлено поверхню опори – очищено від нещільного пошкодженого бетону та бруду, вирівнено поверхні (рис. 5.7, *а*, *б*);

а)



б)



в)



г)



Рис. 5.4 Пошкодження опор високих пасажирських платформ: а – із залізобетонних стояків на з.п. Високий; б, в, г – із бетонних блоків на з.п. Артемівка

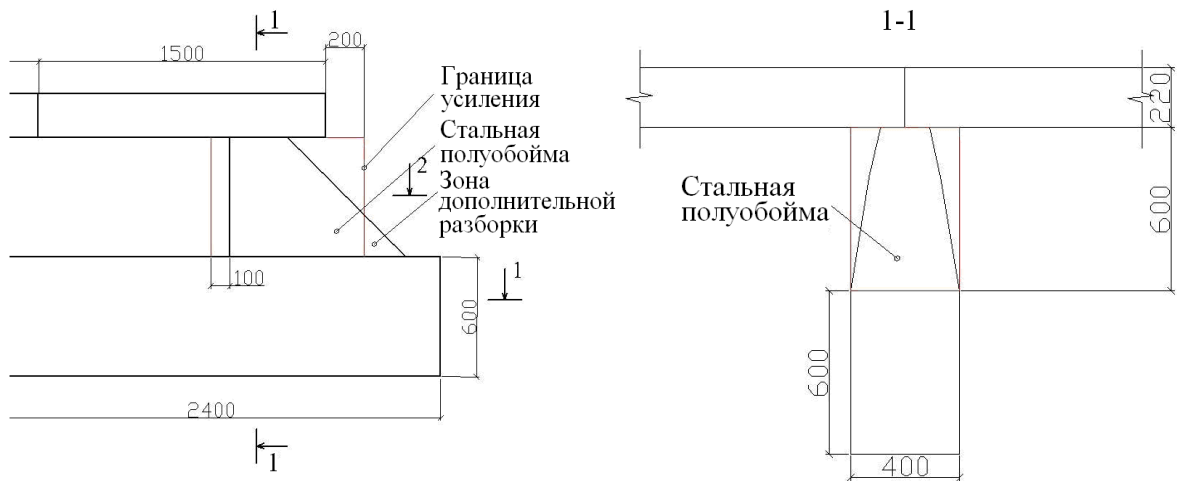
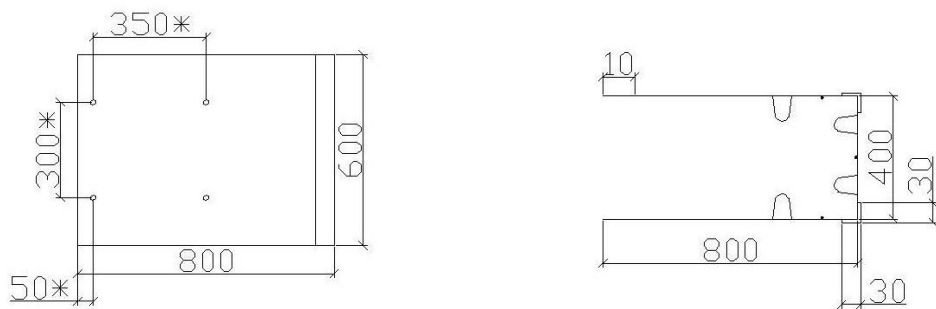


Рис. 5.5 Відновлення несучої здатності опори платформи металін'єкційною сорочкою-півобоймою

а)



б)



Рис. 5.6 Конструкція (а) та зовнішній вигляд (б) сталевій оболонці металін'єкційної сорочки-півобойми

а)



б)



в)



г)



д)



е)



5.7 Улаштування металоін'єкційної сорочки-півобойми для відновлення несучої здатності та захисту від електрокорозії опори пасажирської платформи:
 а, б – підготовки поверхні опори; в, г – монтаж сталеві оболонки сорочки;
 д – заповнення цементно-піщаним розчином зазору між оболонкою опорою; е – готова металоін'єкційна сорочка-півобойма

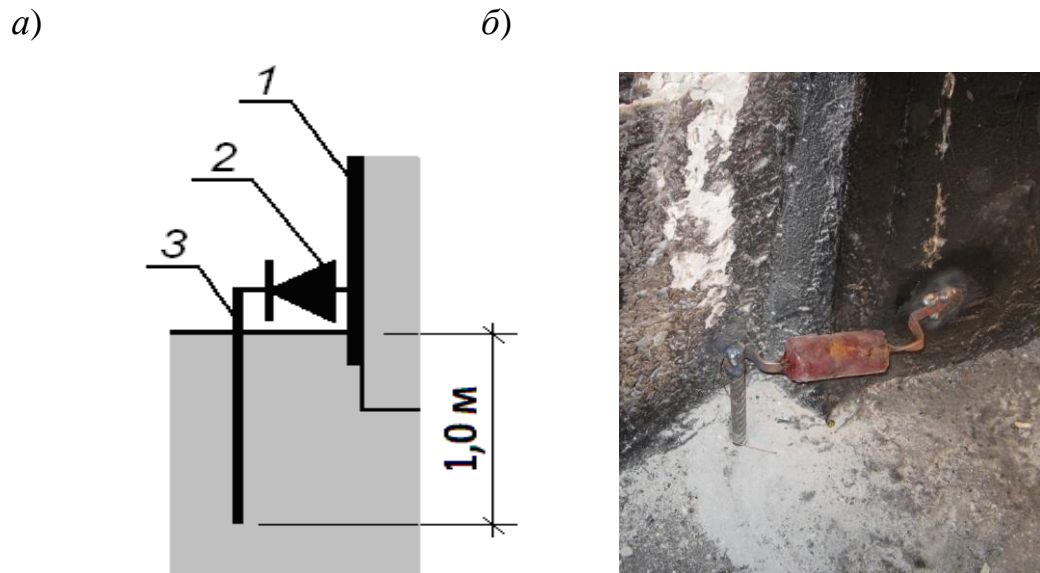


Рис. 5.8 Діодне заземлення для захисту від електрокорозії:

a – схема; *б* – зовнішній вигляд



Рис. 5.9 Відремонтована та захищена опора високої пасажирської платформи на з.п. Водяне і науковці кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДУЗТ, що брали участь у дослідному впровадженні (автор ліворуч)

- змонтовано сталеву оболонку сорочки на чотирьох наскрізних шпильках довжиною 500 мм, діаметром 12 мм таким чином, що вона виступала за плити на близько 200 мм та перекривала суміжний блок на не менше 100 мм (рис. 5.7, в, з);
- заповнено цементно-піщаним розчином зазор між оболонкою та опорою (рис. 5.7, д, е).

Для захисту від електрокорозії обрано діодне заземлення (рис. 5.8). Відремонтвана та захищена опора високої пасажирської платформи на з.п. Водяне наведена на рис. 5.9.

5.6 Розробка рекомендацій за результатами досліджень

За результатами проведених досліджень у співавторстві розроблені, підготовлені до випуску та затверджені такі документи (додаток Г):

- Рекомендації із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць [29];
- Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів [30];
- Рекомендації щодо збільшення міжремонтних термінів фарбування мостів (у складі звіту) [31].

5.7 Техніко-економічна ефективність впровадження результатів досліджень

Впровадження результатів дисертаційного дослідження здійснювалось у складі робіт кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДУ-ЗТ з обстеження споруд та будівель залізниць, виявлення та аналізу причин пошкоджень, їх впливу на несучу здатність і остаточний ресурс споруд, прогнозу довговічності, розробки нових конструктивно-технологічних рішень з відновлення експлуатаційних властивостей, розробки робочих проектів і проведення ремонтних робіт.

Економічний ефект, часткова участь автора в якому становить 782,7 тис. грн., досягнуто за рахунок застосування для ремонту споруд та будівель залізниць нових ремонтних матеріалів і конструктивно-технологічних рішень, які виключають значні трудовитрати, використання важкої техніки і зупинки руху поїздів, зокрема, для пасажирських платформ за рахунок ремонту поверхні та екранного захисту за допомогою електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем або ремонту з відновленням несучої здатності металоін'єкційною сорочкою з її заземленням для захисту від електрокорозії замість повної заміни новою конструкцією. Досягнутий економічний ефект визначений як різниця між орієнтовною вартістю реалізації типових конструктивних і технологічних рішень з фактичними затратами на проведення робіт. Розрахунок економічного ефекту наведений у додатку Д.

Застосування електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем дозволяє також підвищити експлуатаційні показники споруд і, як наслідок, їх довговічність.

5.8 Використання результатів досліджень у навчальному процесі

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі УкрДУЗТ для підготування магістрів за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія спеціалізацій «Промислове та цивільне будівництво» і «Будівництво та експлуатація інженерних споруд залізничного транспорту» у складі лекційних курсів, лабораторних і практичних робіт з дисциплін «Відновлення експлуатаційних властивостей і захист конструкцій та споруд залізниць», «Захист конструкцій та будівель від корозії», а також у складі дипломного проектування.

ВИСНОВКИ З РОЗДІЛУ 5

1. Визначено вимоги до складу електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для екранного захисту від електрокорозії та ремонту: у разі задовільного стану і щільності бетону конструкції вміст комплексної хімічної добавки може бути зменшений з 5 до 2,5 %, у разі більш пошкодженого, менш щільного бетону – збільшений з 5 до 7,5 %.

2. Розроблено технологічні схеми виготовлення суміші композиції для продуктивності до 1 т/зміну та понад 1 т/зміну. Більш продуктивний варіант відрізняється подвійною кількістю вагового обладнання.

3. Встановлено вимоги до компонентів суміші композиції, розроблено параметри контролю якості матеріалів і готової продукції і технологічний регламент її виробництва з вказівками щодо застосування. ТОВ «Віа-Телос» згідно з технологічним регламентом виготовлено дослідну партію суміші композиції у кількості 0,5 т.

4. За результатами натурних обстежень високих пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць здійснено систематизацію їх пошкоджень, розроблено критерій вибору варіанту конструктивно-технологічного рішення їх ремонту і захисту від електрокорозії, обрано ділянки для дослідного впровадження. Варіант ремонту поверхні та екранного захисту за допомогою електропровідної композиції проникної дії має обиратись, якщо пошкодження опор не спричиняють зниження їх несучої здатності, але знижують довговічність за рахунок подальшого розвитку, варіант ремонту і захисту заземленою металоін'єкційною обоймою – якщо пошкодження опор спричиняють зниження їх несучої здатності.

5. Розроблено конструктивно-технологічне рішення захисту від електрокорозії конструкцій пасажирських платформ заземленим екраном-покриттям, у т.ч. вузол сполучення електроду заземлення з екраном, порядок нанесення покриття. Сполучення здійснюється за допомогою сталевієї пластини, площа якої має складати 4 % від загальної площі екрану. У дослідному порядку бу-

ло виконано ремонт і захист від електрокорозії опори високої пасажирської платформи з. п. Водяне Південної залізниці заземленою металоін'єкційною сорочкою.

6. За результатами проведених досліджень у співавторстві розроблені та затверджені Рекомендації із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць, Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів тощо.

7. Впровадження результатів досліджень здійснено під час обстеження споруд та будівель залізниць, виявлення та аналізу причин пошкоджень, їх впливу на несучу здатність і остаточний ресурс споруд, прогнозу довговічності, розробки нових конструктивно-технологічних рішень з відновлення експлуатаційних властивостей, розробки робочих проектів і проведення ремонтних робіт. Економічний ефект, часткова участь автора в якому становить 782,7 тис. грн., досягнуто за рахунок застосування для ремонту споруд та будівель, зокрема, пасажирських платформ, нових ремонтних матеріалів і конструктивно-технологічних рішень, які виключають значні матеріальні й трудові витрати, використання важкої техніки і зупинки руху поїздів. Застосування електропровідної композиції проникної дії дозволяє також підвищити експлуатаційні показники споруд і їх довговічність.

8. Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі УкрДУЗТ для підготування магістрів за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія у складі спеціальних дисциплін та дипломного проектування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті критичного аналізу літературних даних, результатів натурних обстежень щодо руйнівного впливу постійного струму витоків, електричних полів і зарядів на цементний камінь, розчин, бетон залізобетонних, бетонних, кам'яних конструкцій розроблено схеми протікання крізь них струмів витоків, висунуто робочу гіпотезу про їх захист заземленими екранами-покриттями із електропровідних композицій на основі мінеральних в'язучих. Встановлено, що найбільш ефективним способом забезпечення електропровідності композицій на основі мінеральних в'язучих є застосування електропровідних наповнювачів.

2. 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.

3. 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;
- питомий електричний опір композицій з графітовим наповнювачем на три порядки нижчий, ніж у композицій з металевими наповнювачами, що можливо пояснити утворенням на поверхнях металевих часток гідроксидних плівок, що створюють високий перехідний опір;
- композиції з графітовим наповнювачем на силікаті натрію і отверджувачах мають питомий електричний опір від $0,15 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, проте є обмежено водостій-

кими ($K_{\text{вн}} < 0,8$), а на основі портландцементу та КХД за питомого електричного опору $0,9 \text{ Ом}\times\text{м}$ є водостійкими ($K_{\text{вн}} = 1$);

- 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 $2,8 \text{ Ом}\times\text{м}$, що є актуальним саме для її застосування у захисних екранах, що мають забезпечувати дренажування струмів витоку, які багаторазово збільшуються до небезпечних величин саме у вологу погоду.

4. За результатами досліджень розроблено склад електропровідної композиції проникної дії для гідроізоляції та екранного захисту від електрокорозії, на яку отримано патент на винахід.

5. В результаті фізико-хімічних досліджень встановлено, що графіт не бере участь у гідратації цементу і майже не впливає на склад продуктів його гідратації крім певного зниження ступеня гідратації цементу та основності гідросилікатів кальцію.

6. Розроблено методику експериментального дослідження ефективності уземлених 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 без 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.

7. Встановлено, що захист заземленим екраном забезпечує зниження сили струму крізь бетон і арматуру $I_{\text{аб}}$ за рахунок протікання частини струму $I_{\text{зс}}$ крізь захисний екран, а захисні властивості екрану залежать від відсотку

площі контакту сталевого 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 уземлених екранів для захисту конструкцій від корозії струмами витoku.

8. Результати досліджень впроваджено:

- розроблено конструктивно-технологічні рішення захисту опор пасажирських платформ від електрокорозії уземленими екранами-покриттями із електропровідної композиції проникної дії, в результаті обстеження обрано ділянки для їх дослідного впровадження;
- розроблено Технологічний регламент виробництва електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу та її застосування для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії, виготовлено дослідну партію сухої суміші композиції;
- у співавторстві розроблені та уведені в дію рекомендаційні документи Укрзалізниці з питань ремонту та захисту будівель і споруд залізничного транспорту;
- економічний ефект, часткова участь автора в якому становить 782,7 тис. грн, досягнуто за рахунок застосування для екранного захисту електропровідної композиції проникної дії замість металоін'єкційних обойм;
- результати досліджень використовуються у навчальному процесі УкрДУЗТ для підготування магістрів за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нестеренко, С.Г. Полімерцементний розчин для захисту будівель від електрокорозії і надлишкових електричних зарядів: Дис... к.т.н.: 05.23.05. – Зах. 02.06.2016. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 242 с.
2. Войлоков, И.А. Долговечность железобетонных конструкций в современном строительстве / И.А.Войлоков // Бетоны и сухие смеси. – Казань, 2007. – Вып. 1/Б (48/Б). – С.4–5.
3. Дослідження та розробка рекомендацій із захисту та підсилення будівель та споруд станційних комплексів, що руйнуються від спільної дії електричного струму, вібрації, ґрунтових вод: Звіт з НДР / УкрДАЗТ: Харків, 2008.- г/д №60/2-08. - Етап 1.- 61 с.; Етап 2.- 88 с.; Етап 3.- 108 с.
4. Плугин, А.Н. Блуждающие токи на конструкциях, зданиях и сооружениях, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участках железных дорог/ А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Ал.А. Плугин [и др.] // Зб. наук. праць УкрДАЗТ: Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті. - Харків, 2009. - Вип. 109. - С.131-143.
5. ГОСТ 9.602-89 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. Москва: Изд-во стандартов, 1989. – 59 с.
6. ЦЭ 3551 Инструкция по защите железнодорожных подземных сооружений от коррозии блуждающими токами / МПС СССР. - Москва: Транспорт, 1979.- 89 с.
7. Никитина, Е.И. Коррозия и защита металлов / Е.И.Никитина, И.А.Паули.– Новосибирск: СГУПС, 2007. – 23 с.
8. Лантух-Лященко, А.И. О прогнозе остаточного ресурса моста / А.И. Лантух-Лященко // Дороги і мости. – К.: – 2007. – Т.2, вип. 7. – С. 3-9.
9. Research of influence of leakage currents and stray currents / A.N. Plugin, A.A. Plugin, O. Plugin, O. Dudin, O. Borzyak // 17 International Baustofftagung,

Weimar, 23-26 September 2009: Tagungsbericht. – Weimar, 2009. - В.2. - Р.1151-1156.

10. Плугин, А.Н. Исследование влияния переменного электрического поля в бетоне на его электрокоррозию / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, А.А.Дудин, Ал.А.Плугин, О.С.Борзяк, А.А.Конев // Вісник ОДАБА.- Одеса, 2010.- Вип.43.- С.517-524.

11. Дудін, О.А. Механізм впливу змінного струму витоку й високовольтної напруги на обводнені бетонні, залізобетонні та кам'яні споруди: Дис... к.т.н: 05.23.05. – Зах.14.06.2012. - Харків: УкрДАЗТ. – 2012. - 275 с.

12. Костюк, Т.О. Спрямоване формування структури цементних композитів для гідроізоляції: Дис... д.т.н.: 05.23.05. – Зах. 12.11.2015. – Харків: ХНУБА, 2015. – 289 с.

13. Палий, В.В. Полимерцементный раствор для защиты и ремонта зданий и сооружений железных дорог: Дисс... к.т.н.: 05.23.05. – Харьков: УкрДАЗТ, 2014. – 219 с.

14. Соломатов, В.И. Полимерные композиционные материалы в строительстве / В.И.Соломатов, А.Н.Бобрышев, Н.Г.Химмлер – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.

15. Вяземская, Н.И. Применение эпоксидных полимербетонов для ремонта гидротехнических сооружений / Вяземская Н.И., Калинин Е.В. // Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. – М.: НТО Стройиндустрия. – 1976. – С. 34–37.

16. Соломатов, В.И. Армополимербетон в транспортном строительстве / В.И. Соломатов – М.: Транспорт, 1979. – 232 с.

17. Самигов, Н.А. Технология карбамидного полимербетона / Н.А.Самигов, В.И. Соломатов – Ташкент: ФАН, 1987. – 104 с.

18. Bordeleau, D. Comparative study of latex-modified concretes and normal concretes subjected to freezing and thawing in the presence of a decider salt solution / Bordeleau D., Pigeon M., Banthia N. // ACI Materials Journal. – 1992. - Vol. 89, №. 6. – P. 547–553.

19. Елшин, М.М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве / М.М.Елшин – М.: Стройиздат, 1980. – 192 с.
20. Кавешников, Н.Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений / Н.Т.Кавешников – М.: Агропромиздат, 1989. – 272 с.
21. Попов, К.Н. Полимерные и полимерцементные бетоны, растворы и мастики / К.Н.Попов – М.: Стройиздат, 1987. – 72 с.
22. Касимов, И.К. Основы модификации бетонов термопластичными композициями / И.К. Касимов– М.: Стройиздат, 1981. – 144 с.
23. Елшин И.М. Полимерные материалы в ирригационном строительстве./ И.М. Елшин – М.: Колос, 1974. – 257 с.
24. СТ СЭВ 4419-83. Защита от коррозии в строительстве. Конструкции строительные. Термины и определения.
25. Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками: Звіт про НДР (проміжний) / УкрДУЗТ. – Харків, 2016. - №ДР 0115U000279. – 112 с.
26. Теоретичні та експериментальні дослідження впливу електрокорозійного і напружено-деформованого стану залізничних споруд і колії на їх надійність і безпеку руху: Звіт про НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2014. - №ДР 0113U001031. – 178 с.
27. Проведення досліджень сумісності існуючих лакофарбових матеріалів із сучасними антикорозійними системими та розробка рекомендацій із збільшення міжремонтних термінів фарбування мостів: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. - Харків, 2012. - ДР № 0112U006926. – Етап 1. - 59 с.; Етап 2. - 101 с.
28. Проведення досліджень і розробка рекомендацій із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць : Звіт з НДР / УкрДАЗТ. - Харків, 2011. - г/д №60/2-2011. - Етап 1. - 63 с.; Етап 2. - 145 с.

29. Рекомендації із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць / УкрДАЗТ; ЦБМЕС УЗ. – Затв. 20.12.2011. – Харків, 2011. – 26 с.

30. Рекомендації з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів / УкрДАЗТ; ДП «Південна залізниця». – Харків, 2015. – 50 с.

31. Рекомендації із виявлення зон надлишкового заряду, створюваного струмами витоку з рейкових колій, та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах / УкрДУЗТ; ДП «Південна залізниця». – Харків, 2015. – 14 с.

32. Касьянов В.В. Электропроводні покриття для захисту залізобетонних конструкцій від корозії // Тези допов. 69-ї наук.-техн. конфер. ХНУБА. – Харків, 2014. – С.21.

33. Суханова Ю.А. Анализ поврежденных и способов ремонта подводных частей гидротехнических сооружений / Ю.А.Суханова, В.В.Касьянов // Міжнар. наук.-техн. конфер. «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті»: Матер. конфер., 26–28 листопада 2014, Харків. – Харків, УкрДАЗТ, 2014. – С.56–57.

34. Плугин, А.А. Влияние токов утечки и избыточных зарядов Земли на трещинообразование в кирпичной кладке / А.А.Плугин, А.Н.Плугин, С.Г.Нестеренко, Ал.А.Плугин, В.В.Касьянов, Д.А.Плугин // Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения: Матер. междунар. научно-практ. конфер., 28–29 октября 2015, Харьков. – Харьков: ХНУСА, 2015. – С.131–137.

35. Касьянов В.В. Розробка складів електропровідних покриттів для захисту конструкцій від електрокорозії // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: V Міжнар. наук.-технічна конфер., 23-24 квітня 2015, Харків: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – С.33.

36. Касьянов В.В. Захист споруд від електрокорозії за допомогою уземлених електропровідних екранів / В.В. Касьянов, О.А. Плуґін, С.Г. Нестерен-

ко, А.А. Пługін // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: VI Міжнар. наук.-технічна конфер., 19-21 квітня 2017, Харків: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.51–52.

37. Пługін О.А. Дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій / О.А. Пługін, В.В. Касьянов, В.В. Конєв, А.В. Никитинський // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: VI Міжнар. наук.-технічна конфер., 19-21 квітня 2017, Харків: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С.68–69.

38. Пługін О.А. Дослідження впливу структури на питомий електричний опір силікатних композицій для захисту від електрокорозії / О.А. Пługін, В.В. Касьянов, А.А. Пługін, Д.А. Пługін // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: VI Міжнар. наук.-технічна конфер., 19-21 квітня 2017, Харків: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 69.

39. Касьянов В.В. Захист та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць / В.В.Палій, М.І.Петрашук, Є.Г.Щур, С.В.Мірошніченко, В.В.Касьянов, І.Г.Корнієнко // 74 Міжнар. наук.-техн. конфер. кафедр академії, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств та організацій України та ін. країн., Харків, УкрДАЗТ, 24–25.04.2012. – С.42

40. Касьянов В.В. Силікатні електропровідні склади з металевими наповнювачами // 75 Міжнар. наук.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Харків, УкрДАЗТ, 24–25.04.2013. – С.46.

41. Касьянов В.В. Металізація бетонних, залізобетонних та кам'яних конструкцій і споруд методом високотемпературного напилення металів на їх поверхню // 76 Міжнар. наук.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Харків, УкрДАЗТ, 15–17.04.2014. – С.44.

42. Касьянов В.В. Розробка складів електропровідних покриттів для захисту конструкцій від електрокорозії // 77 Міжнар. наук.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Харків, УкрДУЗТ, 21–23.04.2015. – С.33.

43. Касьянов В.В. Захист конструкцій та споруд залізниць від електрокорозії за допомогою екранів із електропровідних будівельних розчинів // 78 Міжнар. наук.-техн. конфер. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», Харків, УкрДУЗТ, 26–28.04.2016. – С.29.

44. Палій, В.В. Захист та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць / В.В.Палій, М.І.Петрашук, Є.Г.Щур, С.В.Мірошніченко, А.А.Плугін, В.В.Касьянов, І.Г.Корнієнко // Зб.наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – Вип.130. – С.100–107.

45. Суханова, Ю.А. Аналіз пошкоджень і способів ремонту підводних частин гідротехнічних споруд / Ю.А.Суханова, В.В.Касьянов // Зб.наук. праць УкрДУЗТ. – Харків, 2014. – Вип.148. – С.87–92.

46. Касьянов, В.В. Розробка складів електропровідних покриттів для захисту конструкцій від електрокорозії / В.В. Касьянов // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків, 2015. – Вип 155. – С. 138–142.

47. Плугін, А.А. Дослідження заземлених екранів із електропровідних композицій як способу захисту від електрокорозії / А.А.Плугін, О.А.Плугін, В.В.Касьянов, Д.А. Плугін, В.В. Конєв // Зб.наук. праць УкрДУЗТ. – Харків, 2017. – Вип.171. – С.53–61.

48. Плугін, О.А. 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. – Т. 91, №1, 2018 – С. 156-163. DOI: 10.29295/2311-7257-2018-91-1-156-163.

49. Пат.113600 UA МПК(2016.01) С04В28/00 С04В41/65(2006.01) С04В/111/90(2006.01) С04В111/20(2006.01) С04В111/72(2006.01) Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії / УкрДУЗТ; А.А.

Плугін, Т.О. Костюк, О.Ю. Процін, О.А.Плугін, Д.О.Бондаренко, В.В. Касьянов, О.С. Борзяк, В.В. Конєв. – Заявл. 01.03.2016. – Заявка № а 2016 02005. – Опубл.10.02.2017. – Бюл.№3.

50. Plugin D. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection / D. Plugin, V. Kasyanov, V. Konev, S. Nesterenko, A. Afanasiev // *Matec Web of Conferences* 116, 01012 (2017). - DOI: 10.1051/matecconf/201711601012.

51. Мамонов, К.А. Исследование формирования и использования водных ресурсов на городском и региональном уровнях с использованием геоинформационных систем / К.А. Мамонов, О.В. Кондращенко, К.О. Метешкин, К.І. Вяткін, С.Г. Нестеренко, В.В. Касьянов, О.В. Бабанін // *Коммунальное хозяйство городов. – Харьков, 2017 – Вып 134. – С. 58 – 64.*

52. ДБН Д.2.2–13–99. Захист будівельних конструкцій та устаткування від корозії. – Введ. 01.02.2000. – К.: Держбуд України, 2000.– 88 с.

53. Рунова, Р.Ф. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво / Р.Ф.Рунова, В.І.Гоц, І.І.Назаренко, В.Й.Сівко, П.С.Шилюк, В.Н.Старчук, В.І.Братчун, А.М.Плугін, М.А.Саницький. – Київ: ЕксОб, 2008. – 355 с.

54. Новая комплексная технология гидроизоляции и усиления разрушающихся тоннелей / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, С.В. Мирошниченко, О.А. Калинин. - *УкрІНТІ. - Рег. № 0606U000058. – Харьков, 2005 г. – 56 с.*

55. Кинд В.В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях. – Москва, Ленинград: Госэнергоиздат, 1955. - 320 с.

56. Москвин, В.М. Коррозия бетона. – Москва: Госархстройиздат, 1952. – 344 с.

57. Артамонов, В.С. Защита железобетона от коррозии / В.С. Артамонов.– М.: Стройиздат, 1967. – 128 с.

58. Шестоперов, С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. - Москва: Транспорт, 1966. – 500 с.

59. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / В.М.Москвин, Ф.М.Иванов, С.Н.Алексеев, Е.А.Гузеев. – Москва: Стройиздат, 1980. – 408 с.
60. СНиП II-28-73* Защита строительных конструкций от коррозии. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – Москва: Стройиздат, 1980. - 48 с.
61. СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СССР. – Москва: ЦИТП Госстроя, 1986. - 48 с.
62. Бабушкин, В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. – Москва: Стройиздат, 1966. – 216 с.
63. Полак, А.Ф. Коррозия железобетонных конструкций зданий нефтехимической промышленности / А.Ф.Полак, В.Б.Ратинов, Г.Н.Гельфман. – Москва: Стройиздат, 1971.
64. Алексеев, С.Н. Долговечность железбетона в агрессивных средах / С.Н.Алексеев, Ф.М.Иванов, С.Модры, П.Шиссль. – Москва: Стройиздат, 1990.- 320 с.
65. Чернявский, В.Л. Адаптация абиотических систем: бетон и железобетон. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2008. – 412 с.
66. Sandberg, P. Durability of Concrete in Saline Environment / P.Sandberg, L.-O.Nillson, P.E.Petersson et al. – Uppsala: Almqvist&Wiksell, 1996. – 206 pp.
67. Stark, J. Dauehaftigkeit von beton / J.Stark, B.Wicht. – Weimar: FIB, 1995. – 295 s.
68. Stark, J. Alkali-Kieselsaure-Reaktion. - Weimar: FIB, 2008. – 144 s.
69. Stark, J. Sulfatangriff auf Beton / J.Stark, F.Bellman, B.Nobst, B.Wicht. – Weimar: FIB, 2010. – 60 s.
70. Солодкий С.Й. Наукові засади підвищення тріщиностійкості дорожнього цементного бетону: Автореф. дис... д.т.н. – Львів: НУ «ЛП», 2013 – 27 с.
71. Толмачов С.Н. Развитие теории разрушения и стойкости дорожных цементных бетонов при действии агрессивных факторов: Дисс... д.т.н. – 05.23.05. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – 427 с.

72. Стрижевский, И.В. Защита подземных металлических сооружений от коррозии / И.В.Стрижевский, А.Д.Белоголовский, В.И.Дмитриев и др. – Москва: Стройиздат, 1990. – 303 с.

73. Корнфельд И. А. Защита железобетонных конструкций от коррозии, вызываемой блуждающими токами / И.А. Корнфельд, В.А. Притула. – Москва: Стройиздат, 1964. – 73 с.

74. Ершов И.М. Защита сооружений от воздействия блуждающих токов железных дорог / И.М. Ершов , Л.С. Панфиль. – Москва: Транспорт, 1965. –144 с.

75. Protecting people, assets and the environment from the effects of corrosion // NACE International: Official site [Электронне джерело] // Режим доступу: www.nace.org

76. Селедцов Э.П. Эксплуатация опор контактной сети / Э.П.Селедцов, Е.А.Баранов. – Москва: Транспорт, 1970. – 95 с.

77. Котельников А.В. Коррозия и защита сооружений на электрифицированных железных дорогах / А.В.Котельников, В.И.Иванова, Э.П.Селедцов, А.В.Наумов. – Москва: Транспорт, 1974. – 152 с.

78. Бондарь, В.А. Защита от коррозии арматуры надземных железобетонных конструкций катодной поляризацией: Дис... д.т.н.: 05.23.05; 05.17.14. - Полтава: ПолИСИ, 1994. – 349 с.

79. Сивцов А. П. Электрокоррозия цементных материалов в зависимости от характеристик электрического тока / А.П.Сивцов , А.А.Старосельский // Технологическое обеспечение долговечности железобетонных шпал. – Москва, 1971. - С.50-56.

80. Старосельский А.А. Электрокоррозия железобетона.- Київ: Будівельник, 1978.- 198 с.

81. Старосельский А. А. Коррозия приарматурного слоя бетона при воздействии переменного тока / Старосельский А. А., Ольгинский А. Г. // Повышение долговечности бетона транспортных сооружений: Межвуз. сб. научн. тр.: под ред. А.Е.Шейкина. – Москва: МИИТ, 1980. – Вып. 62. – С.20-25.

82. Старосельский А. А. Коррозия и долговечность железобетона в условиях электрических воздействий: Дисс... д.т.н.: 05.23.05. – Москва: НИИЖБ, 1989. - 282 с.
83. Электрокоррозия железобетонных мостов и других искусственных сооружений / А.Н.Плугин, А.А.Скорик, А.А.Плугин и др.// *Залізничний транспорт України.*- 2004.- №1.- С.11-13.
84. Електрокорозія бетону залізобетонних блоків обробки метрополітену / А.М.Плугін, А.А.Плугін, О.О.Скорик, О.С.Герасименко, Л.В.Трикоз, М.Ф.Макеєв // *Зб.наук. праць.*- Харків: УкрДАЗТ, 2003.- Вип.56.- С.126-135.
85. Плугін А.А. Довговічність бетону і залізобетону в обводнених спорудах: Колоїдно-хімічні основи: Дис... д.т.н.: 05.23.05. – Харків: ХДТУБА, 2005.
86. Плугин Ал.А. Влияние постоянного тока на бетон обводненных конструкций и сооружений, расположенных вблизи электрифицированных железнодорожных путей: Дисс... к.т.н.: 05.23.05. – Харьков: ХГТУСА, 2010. – 256 с.
87. Борзяк О.С. Механізм електрокорозії бетону залізобетонних конструкцій в складних умовах експлуатації: Автореф. дис... к.т.н.- 05.23.05.- Зах.30.09.10.- Харків: УкрДАЗТ, 2010.-
88. Плугін, О.А. Электричні впливи на бетон (електрообробка та захист від електрокорозії бетонів, виробів і конструкцій із них): Монографія / О.А.Плугін, О.С.Борзяк, В.Б.Мартінова, О.К.Халюшев; за ред. А.А.Плугіна і М.М.Зайченка. – Харків: Форт, 2013. – 300 с.
89. Теоретические предпосылки защиты бетонных, железобетонных и каменных конструкций от переменных токов утечки / А.А.Плугин, А.А.Дудин, Ал.А.Плугин, А.Н.Плугин // *Науковий вісник будівництва.*- Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2008.- Вип.47.- С.179-184.
90. Дудин А.А. Механізм впливу змінного струму витоку й високовольтної напруги на обводнені бетонні, залізобетонні та кам'яні споруди: Дис... к.т.н. – 05.23.05. – Харків: УкрДАЗТ, 2012.

91. Лютий В.А. Повторювана швидконатікаюча повзучість бутової кладки мостових опор під механоелектричною дією: Дис... к.т.н.: 05.23.05. – Харків: УкрДАЗТ, 2007.

92. Плугін Д.А. Розвиток теорії електрокорозії обводнених конструкцій і розробка електрокорозійностійких матеріалів і способів захисту: Дис... д.т.н.: 05.23.05. – Харків: УкрДАЗТ, 2014.

93. Конєв О.А. Вплив надлишкових негативних зарядів від струмів витoku на тріщиноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій: Дис... к.т.н.: 05.23.05. – Харків: УкрДАЗТ, 2014.

94. Забіяка О.А. Механізм тріщиноутворення у плитах безбаластного полотна та опорах залізничних мостів і підвищення їх тріщиностійкості: Дис... к.т.н.: 05.23.05. – Харків: УкрДАЗТ, 2015.

95. Трикоз Л.В. Теорія надлишкових електричних зарядів і розробка способів збереження стійкості матеріалів і конструкцій за їх наявності: Дис... д.т.н.: 05.23.05. – Харків: УкрДУЗТ. 2015

96. Экспериментальное определение потенциалов в конструкциях железнодорожных мостов на электрифицированных участках пути / А. Н. Плугин, Д. А. Плугин, В. А. Лютый [и др.]. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - К., 2006. - №73.- С. 253-257.

97. Основные факторы трещинообразования и разрушения опор мостов через реки на электрифицированных участках железных дорог / А. Н. Плугин, А. А. Плугин, С. В. Мирошниченко [и др.]. // Дороги і мости: зб. наук. праць. - Київ, 2007. - Вип. 7. - Т.ІІ. - С. 121-127.

98. Механизм электрокоррозии бетонных конструкций пульсирующим однонаправленным блуждающим током или током утечки / А. Н. Плугин, А. А. Плугин, С. В. Мирошниченко [и др.]. // Науковий вісник будівництва. - Харків, 2007. - Вип.42. - С. 106-111.

99. Электроосмотический перенос как фактор разрушения железобетонных и каменных опор железнодорожных мостов на водотоках / А.Н.Плугин,

А.А.Плугин, С.В.Мирошниченко и др. // Зб.наук.праць ЛНАУ. Серія «Технічні науки».- Луганськ: ЛНАУ, 2007.- №71(94).- С.189-196.

100. Механизм разрушения кирпичной кладки водопропускной трубы переменным блуждающим током или током утечки / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.С.Герасименко, А.А.Дудин, Ал.А.Плугин // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2007.- Вип.42.- С.112-119.

101. Блуждающие токи на конструкциях, зданиях, и сооружениях, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участков железных дорог / А. Н. Плугин, А. А. Плугин, О. А. Калинин [и др.]. // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: Зб. наук. праць. - Харків, 2009. - Вип. 109. - С. 131-143.

102. Исследование влияния токов утечки и блуждающих токов на здания и сооружения, расположенные возле электрифицированных железнодорожных путей / А. Н. Плугин, Ал. А. Плугин, О. С. Борзяк [и др.] // Вісник НТУ «ХП». - Харків, 2009. - №40. - С. 88 - 104.

103. ВБН В 2.3 -1-2008 Споруди транспорту. Проектування, будівництво та експлуатація будівель і службово-технічних споруд залізничного транспорту при швидкісному та високошвидкісному русі поїздів / Мінтрансв'язку України.- Київ, 2008.- 114 с.

104. ГОСТ 24155-80 Конструкции железобетонные высоких пассажирских платформ. Технические условия / Минтрансстрой СССР.- Москва: 1980.- 16 с.

105. Berendt O. Versuche über den elektrischen Widerstand von unbewehrtem Beton / Berendt O., Wirtz K., Müller W. – Berlin: “Ernst und Sohn”, 1911. (Deutscher Ausschuss für Eisenbeton, Heft 76).

106. Influence of frequency of alternating or in frequently reversed current on electrolytic corrosion // Technologic Paper. – 1916. - № 72.

107. Glauber Mr. M. Electrolysis in reinforced concrete. Tests at Washington University / Glauber Mr. M. // Engineering News. – 1909. - Vol. 61. - № 17. - P. 458.

108. Eltinge O. L. Further Jest on the Effect of Electrolysis in Concrete. / Eltinge O. L. // Engineering News. - 1910. - Vol. 63. - № 11. - P. 327.
109. Brown H. P. Serious Injury to a Reinforced-Concrete Building by Electrolysis / Brown H. P. // Engineering News. - 1911. - Vol. 65. - № 23. - P. 684-687.
110. Speller F. N. Corrosion of structure steel / Speller F. N. / Year-book of the American iron and steel Institute. – 1926. - P. 272.
111. Further Experiments on the Electrolytic Disintegration of Reinforced Concrete // Engineering News. – 1911. - Vol. 65. - № 23. - P. 687-688.
112. Сивцов А.П., Старосельский А.А. Электроосмотическое течение жидкости в цементном камне. – В кн.: Технологическое обеспечение долговечности железобетонных шпал. – М.: Транспорт, 1971, с. 57 – 61.
113. СН 65-76 Инструкция по защите железобетонных конструкций от коррозии, вызываемой блуждающими токами. – Москва: Стройиздат, 1977. – 80 с.
114. Слукин В.М. Сарапулов А.Ф. Бетоны с повышенными электроизоляционными свойствами. – Бетон и железобетон, 1973, №12, с. 13 – 14.
115. Meier H., Rubin H., Neumann V. Verfahren zur Erhöhung des elektrischen Leitwiderstandes von Bauteilen aus Beton. – Patent DDR № 912910, Klasse 80b, Gruppe 113, ausgegeben am 3 Juli 1954.
116. ДСТУ Б В.2.6-145:2010 (ГОСТ 31384-2008, NEQ) Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги / Мінрегіонбуд України. – К.: НДІБК. – 2010. – 56 с. (СНиП 2.03.11-85* Защита строительных конструкций от коррозии / Минстрой РФ.- М.: ГУП ЦПП.- 1996.- 56 с.
117. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. – Харків: Вища школа, 1989. – 168 с.
118. HMC Samarang (1822) // Wikipedia: Електронне джерело / Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/HMS_Samarang_\(1822\)](https://en.wikipedia.org/wiki/HMS_Samarang_(1822))
119. Humphry Davy // Wikipedia: Електронне джерело / Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Humphry_Davy

120. EN 14505:2005 Cathodic protection of complex structures.

121. EN 15112:2006 External cathodic protection of well casing.

122. ГОСТ 26251-84 Протекторы для защиты от коррозии. Технические условия.

123. ГОСТ 9.056-75 Единая система защиты от коррозии и старения. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме.

124. ГОСТ Р 51164-98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.

125. ГОСТ 9.602-2005 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.

126. Рекомендації із захисту від корозії елементів верхньої будови колії в залізничних тунелях / ЦП УЗ; УкрДАЗТ. – Харків, 2010. – 31 с.

127. Целебровский Ю. В. Некорродирующие заземлители из бетэла для установки переменного и постоянного тока / Ю.В. Целебровский // Доклады Всесоюзной конференции по заземлениям. – Харьков: Изд. ХГУ. - 1966.- С. 96-102.

128. Возможности использования электропроводного бетона (бетэла) в гражданском строительстве / Под ред. Л.Е.Врублевского. – Новосибирск, 1971. – 51 с.

129. Токопроводящие бетоны: Электронне джерело / Режим доступу: <http://betony.ru/betel/parametru-primeneniya.php>.

130. Иванов Ф.М. Цементный бетон. - Москва: Автотрансиздат, 1957. – 258 с.

131. Титова Л.А., Бейлина М.И. // Бетон и железобетон. - №4. - 2001. - С.38.

132. Использование бетона в качестве электропроводного материала. 2007-2011: Электронне джерело / Режим доступу: <http://betony.ru/betel/ispolzovanie-betona-v-kachestve-elektroprovodnogo-materiala.php>

133. Казимагомедов, И.Э. Влияние микронаполнителей на усадочные деформации растворов для наливных полов / И.Э.Казимагомедов, С.Ю.Шептун // 36. наук.праць УкрДУЗТ. – 2016. – Вип.159. – С.57–62.
134. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / [Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М.]. – К.: Будівельник, 1991. – 136 с.
135. Лесовик В.С. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов / В.С. Лесовик, В.В. Потапов, Н.И. Алимова, О.В. Ивашова // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 60 – 62.
136. Толмачев, С.Н. Технологические, механические и структурные характеристики цементных систем с углеродными коллоидными частицами / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко, А.Г. Холодный // Строительные материалы. – 2010. – №9. – С.96–100.
137. Беличенко, Е.А. Повышение качества дорожных бетонов за счет применения углеродных наночастиц / Е.А. Беличенко, С.Н. Толмачев // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2017, №1(8). – С.333–337.
138. Кротова Н.А. Склеивание и прилипание / Кротова Н.А. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 135 с.
139. Журавлев В.Ф. Сцепление цементного камня с различными материалами / Журавлев В.Ф., Штейерт Н.П. // Цемент. – 1952. - №1. – С. 16-18.
140. Урьев Н.Б. Коллоидный цементный клей и его применение в строительстве / Урьев Н.Б., Михайлов Н.В. – М.: Стройиздат, 1967. – 175 с.
141. Александровский С.В. Набухание бетона при увлажнении / Александровский С. В. // Бетон и железобетон. – 1959. - № 10. – С. 45-47.
142. Yuan Y. S. Major factors influencing in performance of structural repair / Yuan Y. S., Marosszety, M. // ACI SP-128. – 1993. – 2. – Pp. 819-837.
143. Шейкин А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

144. Горшков В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / Горшков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г. – М.: Высш. школа, 1981. – 335 с.
145. Ларионова З.М. Методы исследования цементного камня и бетона [Текст] / З.М. Ларионова.- М.: Стройиздат, 1970.- 159 с.
146. Болдырев А. И. ИК- спектры минералов / Болдырев А. И. - М.: Недра, 1976.- 199 с.
147. Леманн Г. Исследование гидратации клинкерных минералов и цементов при помощи ИКС / Леманн Г., Датц Г. // Тр. IV Междунар. конгр. по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1964. – С. 383-388.
148. Мчедлов-Петросян О. П. ИК-спектры продуктов гидратации в системе «портландцемент-минерал заполнителя-вода» / Мчедлов-Петросян О.П., Ольгинский А.Г., Фольке К. // Изв. вузов строит. и archit. - 1973. - №8. - С.50-55.
149. Ларионова З. М. Петрография цементов и бетонов / Ларионова З. М., Виноградов Б. Н. - М.: Стройиздат, 1974. - 347 с.
150. Ларионова З. М. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона / Ларионова З. М., Никитина Л. В., Гарашин В. Р. - М.: Стройиздат, 1977. - 264 с.
151. Плугин, А.Н. Электрическое сопротивление железобетонных шпал с различными типами рельсовых креплений / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, Ал.А.Плугин, А.А.Дудин // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. - Харків, 2009. - Вип.111. - С.245-261.
152. 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.
153. Пушкарева, Е.К. Моделирование процессов получения нелинейных высокоомных резистивных композиционных материалов в системе « β - C_2S -

SiC-C-Na₂O·SiO₂·mH₂O» / Е.К.Пушкарева, С.Г.Гузій // Будівництво: Зб. наук. пр. - Дніпропетровськ: ДПТ, 2001. - Вип.9. - С.54-57.

154. Lopanov, A.N. Cement-quartz electrically conductive composites based on graphite dispersions / A.N.Loponov, E.A.Fanina, O.N.Guzeeva // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - Vol. 9 (2014). - P.2250-2253.

155. Христич, О.В. Формування мікроструктури бетонів для захисту від іонізувального випромінювання / О.В.Христич, М.С.Лемешев М.С. // Вісник Вінницького політехнічного інституту.- Вінниця: УНІВЕРСУМ, 1998. - №2. - С.18-23.

156. Лопанов, А.Н. Влияние рецептурно-технологических факторов на физико-механические характеристики мелкозернистого бетона с углеродной фазой / А.Н. Лопанов, Е.А. Фанина, О.Н. Томаровщенко // Вестник БГТУ им В. Г. Шухова. - 2017. - №1. - С.130-133.

157. Сердюк, В.Р. Фізико-хімічні особливості формування структури електропровідних бетонів / В.Р.Сердюк, М.С.Лемешев, О.В.Христич // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - Вінниця: ВДТУ, 1997. - №2. - С.5-9.

158. Христич, О.В. Формування мікроструктури бетонів для захисту від іонізувального випромінювання / О.В.Христич, М.С.Лемешев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - Вінниця: УНІВЕРСУМ, 1998.- №2. - С.18-23.

159. Пушкарьова, К.К. Мікроструктура резистивних композиційних матеріалів в системі « β -C₂S-SiC-C-Na₂O·SiO₂·mH₂O» / К.К.Пушкарьова, С.Г.Гузій // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. - Рівне: РДТУ. - 2000. - вип.5. - С.82-85.

160. Пушкарева, Е.К. Исследование физико-химических процессов формирования диэлектрической матрицы в системе « β -C₂S-Na₂O·SiO₂·mH₂O» / Е.К.Пушкарева, С.Г.Гузій // Науково-практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій: Зб. наук. ст. – К.: КНУБА. - 2002. - Вип. 5. – С. 23-29.

161. 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.

162. Lopanov, A.N. Technology of electrically conductive composites of alkaline 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.

163. Бернацкий А.Ф. Электрические свойства бетона / Бернацкий А.Ф., Целебровский Ю.В., Чунчин В.А. – М: Энергия, 1980. – 207 с.

164. Браутман Л. Композиционные материалы. Том 3: Применение композиционных материалов в технике / Л.Браутман, Р.Крок; под. ред. Б.Нотона. - Москва: Машиностроение, 1978. - 511 с.

165. Плугин А.А. Совершенствование состава и структуры бетона с учетом электроповерхностных свойств его составляющих для повышения прочности и стойкости изделий кольцевого сечения: Дисс... к.т.н.: 05.23.05. - Защ.14.06.1994. - Харьков: ХИСИ, 1994. - 245 с.

166. 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, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. - Weimar: F.A.Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar, 2011. - N P21. - P.435-443.

167. Плугин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: Дисс... д.х.н.: 02.00.11. - Защ.14.06.89. - Киев: ИКХХВ, 1989. - 282 с.

168. Шаскольская М.П. Кристаллография. - Москва: Высшая школа, 1976. - 392 с.

169. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. - Москва: Высшая школа. - 1978. - 309 с.

170. Пат. 73395 UA C27 C04B 28/00, 41/65, 22/06. Композиція проникної дії для відновлення зруйнованого бетону / В.І. Бабушкін, О.В. Кондращенко, Т.О. Костюк, О.Ю. Процин. - Заявл.24.06.2003. - Опубл. 15.07.2005. - Бюл. № 7.

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача за темою дисертації

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

1. Касьянов, В.В. Розробка складів електропровідних покриттів для захисту конструкцій від електрокорозії / В.В. Касьянов // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.– Харків: УкрДУЗТ 2015. – Вип. 155. – С. 138–142.

2. Касьянов, В.В. Захист та підсилення конструкцій пасажирських платформ на електрифікованих ділянках залізниць / В.В. Палій, Є.Г. Щур, С.В. Мірошніченко, А.А. Пługін, В.В. Касьянов, І.Г. Корнієнко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 130. – С. 100–107.

(Особистий внесок: Аналіз пошкоджень конструкцій, розроблення робочих креслень підсилення конструкцій пасажирських платформ).

3. Касьянов, В.В. Аналіз пошкоджень і способів ремонту підводних частин гідротехнічних споруд / Ю.А. Суханова, В.В. Касьянов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.– Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 148. – Ч. 2. – С. 87–92.

(Особистий внесок: аналіз причин пошкоджень споруд).

4. Касьянов, В.В. Дослідження заземлених екранів із електропровідних композицій як способу захисту від електрокорозії/ А.А. Пługін, О.А. Пługін, В.В. Касьянов, Д.А. Пługін, В.В. Конєв //Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 171. – С. 53–61.

(Особистий внесок: експериментальні дослідження екранів із композицій на основі портландцементу).

5. Касьянов, В.В. Вплив структури та компонентів на електрофізичні властивості електропровідних композицій на основі портландцементу / О.А. Пługін, В.В. Касьянов, А.А. Пługін, Д.А. Пługін, О.С. Борзяк // Науковий вісник будівництва. 2018 – Т. 91, №1. – С. 156-163. 10.29295/2311-7257-2018-91-1-156-163.

(Особистий внесок: виконання розрахункового експерименту за математичною моделлю електропровідності композиційного матеріалу, експериментальне дослідження).

6. Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії: Патент. 113600 UA МПК(2016.01) C04B28/00 C04B41/65(2006.01)C04B111/90(2006.01) C04B111/20(2006.01) C04B111/72(2006.01) / УкрДУЗТ; А.А. Плугін, Т.О. Костюк, О.Ю. Прощін, О.А.Плугін, Д.О.Бондаренко, В.В. Касьянов, О.С. Борзяк, В.В. Конєв. – № а 2016 02005; Заявл. 01.03.2016; Опубл. 10.02.2017, Бюл. № 3. – 4 с.

(Особистий внесок: виконання експериментальних досліджень з визначення оптимального вмісту електропровідного наповнювача та аналіз їх результатів).

Праці апробаційного характеру:

7. Kasyanov, V. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection / D. Plugin, V.Kasyanov, V. Konev, S. Nesterenko, A. Afanasiev // MATEC Web of Conferences, 116, 01012 (2017). 6 p.

(Особистий внесок – виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення моделей, виконання замірів, аналіз результатів).

8. Касьянов, В.В. Электропроводні покриття для захисту залізобетонних конструкцій від корозії // Тези доповідей 69-ї наук.-техн. конф. ХНУБА (18–20 лютого 2014, Харків). – Харків: ХНУБА, 2014. – С. 22.

9. Касьянов, В.В. Анализ поврежденных и способов ремонта подводных частей гидротехнических сооружений / Ю.А. Суханова, В.В. Касьянов // Матеріали між нар. наук.-техн. конф. «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті», (26–28 листопада 2014, Харків). – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – С. 56–57.

(Особистий внесок: аналіз результатів натурних обстежень).

10. Касьянов, В.В. Влияние токов утечки и избыточных зарядов Земли на трещинообразование в кирпичной кладке / А.А. Плугин, А.Н. Плугин, С.Г.

Нестеренко, Ал. А. Плугин, В.В. Касьянов, Д.А. Плугин // Материали міжнарод. науч.-практ. конф., «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения», (28–29 октября 2015, Харьков). – Харьков: ХНУСА, 2015. – С. 131–137.

(Особистий внесок: участь в експериментальних дослідженнях впливу електричного струму на утворення тріщин).

11. Касьянов, В.В. Розробка складів електропровідних покриттів для захисту конструкцій від електрокорозії / В.В. Касьянов // Тези доповідей, V Між нар. наук.-техн. конф., Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті, (23-24 квітня 2015, Харків) Харків: УкрДУЗТ, 2015. – С. 33.

12. Касьянов В.В. Захист споруд від електрокорозії за допомогою uzемлених електропровідних екранів / В.В. Касьянов, О.А. Плугін, С.Г. Нестеренко, А.А. Плугін // Тези доповідей, VI Між нар. наук.-техн. конф., Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті, (19-21 квітня 2017, Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 51–52.

(Особистий внесок: експериментальні дослідження екранів із композицій на основі портландцементу).

13. Касьянов, В.В. Дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій / О.А. Плугін, В.В. Касьянов, В.В. Конєв, А.В. Никитинський // Тези доповідей, VI Між нар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017, Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 68–69.

(Особистий внесок: експериментальні дослідження композиції на основі портландцементу).

14. Касьянов, В.В. Дослідження впливу структури на питомий електричний опір силікатних композицій для захисту від електрокорозії / О.А. Плугін, В.В. Касьянов, А.А. Плугін, Д.А. Плугін // Тези доповідей, VI Між нар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд

та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017, Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 69.

(Особистий внесок: розрахунки залежності електропровідності від характеристик структури).

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

15. Касьянов, В.В. Исследование формирования и использования водных ресурсов на городском и региональном уровнях с использованием геоинформационных систем / К.А. Мамонов, О.В. Кондращенко, К.О. Метешкін, К.І. Вяткін, С.Г. Нестеренко, В.В. Касьянов, О.В. Бабанін // Коммунальное хозяйство городов. – Харьков, 2017. – Вып. 134. – С. 58 – 64.

(Особистий внесок: виконання натурних досліджень).

Відомості про апробацію результатів дисертації

1. Kasyanov, V. Research into the effectiveness of grounded screens of electroconductive silicate compositions for electrocorrosion protection / D. Plugin, V.Kasyanov, V. Konev, S. Nesterenko, A. Afanasiev // MATEC Web of Conferences, 116, 01012 (2017). 6 p. (Заочна участь).

2. Касьянов, В.В. Электропроводные покрытия для защиты железобетонных конструкций от коррозии // Тезисы доповідей 69-ї наук.-техн. конф. ХНУБА (18–20 лютого 2014, Харків). – Харків: ХНУБА, 2014. – С. 22. (Особиста участь).

3. Касьянов, В.В. Анализ повреждений и способов ремонта подводных частей гидротехнических сооружений / Ю.А. Суханова, В.В. Касьянов // Материалы між нар. наук.-техн. конф. «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті», (26–28 листопада 2014, Харків). – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – С. 56–57. (Заочна участь).

4. Касьянов, В.В. Влияние токов утечки и избыточных зарядов Земли на трещинообразование в кирпичной кладке / А.А. Плугин, А.Н. Плугин, С.Г. Нестеренко, Ал. А. Плугин, В.В. Касьянов, Д.А. Плугин // Материалы междунар. науч.-практ. конф., «Эффективные технологические решения в

строительстве с использованием бетонов нового поколения», (28–29 октября 2015, Харьков). – Харьков: ХНУСА, 2015. – С. 131–137. (Заочна участь).

5. Касьянов, В.В. Розробка складів електропровідних покриттів для захисту конструкцій від електрокорозії / В.В. Касьянов // Тези доповідей, V Між нар. наук.-техн. конф., Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті, (23-24 квітня 2015, Харків) Харків: УкрДУЗТ, 2015. – С. 33. (Особиста участь).

6. Касьянов В.В. Захист споруд від електрокорозії за допомогою uzем-лених електропровідних екранів / В.В. Касьянов, О.А. Плуґін, С.Г. Нестеренко, А.А. Плуґін // Тези доповідей, VI Між нар. наук.-техн. конф., Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті, (19-21 квітня 2017, Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 51–52. (Заочна участь).

7. Касьянов, В.В. Дослідження впливу електропровідного наповнювача на електрофізичні, фізико-механічні, гідрофізичні властивості силікатних композицій / О.А. Плуґін, В.В. Касьянов, В.В. Конєв, А.В. Никитинський // Тези доповідей, VI Між нар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017, Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 68–69. (Особиста участь).

8. Касьянов, В.В. Дослідження впливу структури на питомий електричний опір силікатних композицій для захисту від електрокорозії / О.А. Плуґін, В.В. Касьянов, А.А. Плуґін, Д.А. Плуґін // Тези доповідей, VI Між нар. наук.-техн. конф. «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19-21 квітня 2017, Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 69. (Особиста участь).

9. Касьянов, В.В. Електропровідні покриття на основі портландцементу для захисту від електрокорозії і ремонту конструкцій та споруд залізниць / В.В. Касьянов, А.А. Плуґін, // «Стародубовские чтения 2018» (19-20 квітня 2018, Дніпро) – Дніпро: ПДАБА, 2018. – С. 11. (Особиста участь).

ДОДАТОК Б



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **113600** (13) **C2**

(51) МПК (2016.01)

C04B 28/00

C04B 41/65 (2006.01)

C04B 111/90 (2006.01)

C04B 111/20 (2006.01)

C04B 111/72 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2016 02005</p> <p>(22) Дата подання заявки: 01.03.2016</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.02.2017</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 11.07.2016, Бюл.№ 13</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.02.2017, Бюл.№ 3</p>	<p>(72) Винахідник(и): Плугін Андрій Аркадійович (UA), Костюк Тетяна Олександрівна (UA), Прошин Олег Юрійович (UA), Плугін Олексій Андрійович (UA), Бондаренко Дмитро Олександрович (UA), Касьянов Володимир Володимирович (UA), Борзяк Ольга Сергіївна (UA), Конев Віталій Васильович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, пл. Фейербаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 73395 C2, 15.07.2005 UA 103280 C2, 25.09.2013 SU 270561 A1, 10.04.1982 RU 2165911 C1, 27.04.2001 US 6855199 B1, 15.02.2005 CN 1092048 A, 14.09.1994 CN 1483699 A, 24.03.2004 CN 104860604 A, 26.08.2015 KR 20100012495 A, 08.02.2010</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

UA 113600 C2

(54) КОМПОЗИЦІЯ ПРОНИКНОЇ ДІЇ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі виробництва атмосферостійких водонепроникних будівельних матеріалів, застосовуваних для ремонтних і будівельних робіт. Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії містить: цемент, пісок кварцовий, нітрат натрію, кальцієву сіль слабкої неорганічної кислоти, хлорид кальцію, сульфат натрію, карбонат натрію, гідроксид кальцію або карбід кальцію, перетворювач іржі, інгібітор корозії, пластифікатор та графітовий наповнювач при визначеному співвідношенні компонентів. Покриття з композиції має високі показники фізико-механічних властивостей і водонепроникності та, одночасно, невисокий електричний опір, що забезпечує можливість застосування покриття як гідроізоляційного та додатково як заземленого екрана для захисту від електрокорозії.

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА ВІНАХІД

№ 113600

КОМПОЗИЦІЯ ПРОНИКНОЇ ДІЇ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ТА
ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
10.02.2017.

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України

А.А.Малиш



ДОДАТОК В

УЗГОДЖЕНО:

Головний інженер структурного
підрозділу
ПАТ «Укрзалізниця»

В.В. Конєв

« 7 » грудня 2017 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор ВАТ «Віа-Телос»

Т.В. Губіна

« 8 » грудня 2017 р.



ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ

виробництва суміші електропровідної композиції
проникної дії для гідроізоляції і захисту від електрокорозії
залізобетонних конструкцій з вказівками із застосування

РОЗРОБЛЕНО:

Зав. кафедри будівельних матеріалів,
конструкцій та споруд Українського державного
університету залізничного транспорту

д.т.н., проф. А.А. Плугін

« 7 » грудня 2017 р.



Зав. кафедри будівельних матеріалів та виробів
Харківського національного університету
будівництва та архітектури

д.т.н., проф. Т.О. Костюк

« 7 » грудня 2017 р.

Докторант кафедри будівельної механіки
та гідравліки УкрДУЗТ

к.т.н., доц. О.А. Плугін

« 7 » грудня 2017 р.

Мол. наук. співроб. кафедри БМКС

В.В. Касьянов

« 7 » грудня 2017 р.

Харків 2017

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Цей технологічний регламент встановлює порядок виготовлення суміші електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем для гідроізоляції і захисту від електрокорозії залізобетонних конструкцій.

Склад композиції захищено Патентом 113600 UA Композиція проникної дії для гідроізоляції та захисту від електрокорозії / УкрДУЗТ; А.А. Пługін, Т.О. Костюк, О.Ю. Процін, О.А. Пługін, Д.О.Бондаренко, В.В. Касьянов, О.С. Борзяк, В.В. Конєв. – Заявл. 01.03.2016. – Заявка № а 2016 02005. – Опубл.10.02.2017. – Бюл.№3. – 4 с.

Композиція дозволяє отримати електропровідний, водонепроникний, морозостійкий захисний шар з короткими термінами тужавлення, добрим зчепленням зі «старим» бетоном та іншими кам'яними підкладками.

Композиція призначена для гідроізоляції та захисту від електрокорозії постійними струмами витоку залізобетонних, бетонних і кам'яних конструкцій заземленими екранами-покриттями.

Технологічний регламент містить вказівки із нанесення композиції на залізобетонні, бетонні та кам'яні конструкції і улаштування з неї заземленого екрану-покриття.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У технологічному регламенті містяться посилання на нормативні документи:

ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-32-95 Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-126:2011 Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-187:2009 Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск

ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний

ГОСТ 9078-84 Поддоны плоские. Общие технические условия

ГОСТ 21929-76 Транспортирование грузов пакетами. Общие технические условия

ГОСТ 22237-85 Цементы. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение

ГОСТ 25951-83 Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия

ЗМАТЕРІАЛИ

Композиція складається із в'язучої речовини, заповнювача, електропровідного наповнювача і комплексної хімічної добавки.

В'язуча речовина – портландцемент ПЦ I-500 або ПЦ II-A/Ш-500 ДСТУ Б В.2.7-46.

Заповнювач – пісок кварцовий ДСТУ Б В.2.7-32 з модулем крупності 1,2–1,5.

Електропровідний наповнювач – графітовий порошок марки ГС-1.

Складові комплексної хімічної добавки КХД: нітрат натрію; кальцієва сіль слабкої неорганічної кислоти; хлорид кальцію; сульфат натрію; карбонат натрію; гідроксид кальцію; перетворювачі ржі; інгібітор корозії; добавка-суперплатифікатор – сульфонафтальінформальдегід СП-1.

3 СКЛАД КОМПОЗИЦІЇ

Склад композиції, частин за масою:

- портландцемент– 32;
- пісок– 53;
- графіт – 10;
- КХД – 5, у т.ч.:
 - нітрат натрію – 1;
 - кальцієва сіль слабкої неорганічної кислоти – 1;
 - хлорид кальцію – 0,5;
 - сульфат натрію – 0,5;
 - карбонат натрію – 0,5;
 - гідроксид кальцію – 1;
 - перетворювач іржі – 0,1;
 - інгібітор корозії – 0,1;
 - добавка-суперплатифікатор–0,3.

За узгодженням із споживачем вміст КХД може бути змінено:

- у разі задовільного стану і щільності бетону конструкції вміст КХД може бути зменшений з 5 до 2,5;
- у разі більш пошкодженого менш щільного бетону вміст КХД може бути збільшений з 5 до 7,5

4 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИГОТОВЛЕННЯ СУМІШІ КОМПОЗИЦІЇ

В залежності від потрібної продуктивності виробництва виготовлення композиції виробництво суміші композиції слід організувати за однією із технологічних схем:

- для продуктивності до 1 т/зміну – за схемою, наведеною на рис. 1, а;
- для продуктивності понад 1 т/зміну – за схемою, наведеною на рис. 1, б.

Більш продуктивний варіант технологічної схеми відрізняється подвійною кількістю вагового обладнання.

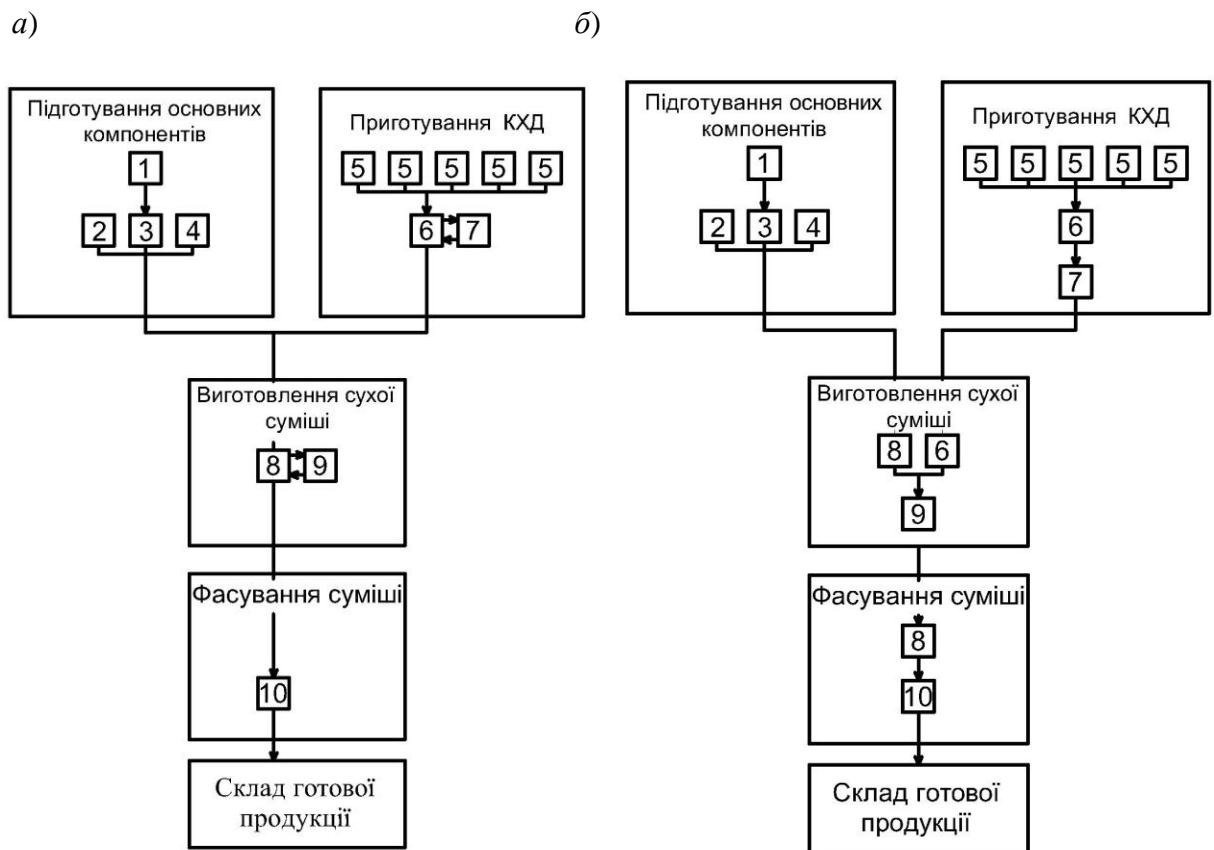


Рис. 1. Технологічні схеми виготовлення суміші електропровідної композиції на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем: *а* – для продуктивності виробництва до 0,5 т/зміну; *б* – для продуктивності виробництва понад 0,5 т/зміну; 1 – сушарка піску; 2 – бункер для цементу; 3 – бункер для піску; 4 – бункер для графітового порошку; 5 – бункери для компонентів КХД; 6 – дозатор (ваги) 5 кг; 7 – змішувач 10 л; 8 – дозатор (ваги) 100 кг; 9 – змішувач 0,25 м³; 10 – пакувальна машина

5 ПОРЯДОК ПРИГОТУВАННЯ СУМІШІ КОМПОЗИЦІЇ

Згідно з технологічною схемою виробництва суміші композиції її виготовлення має здійснюватися у такому порядку:

- 1) підготування основних компонентів – сушка піску, завантаження у бункери цементу, піску і графітового порошку; всі компоненти мають бути сухими з відносною вологістю не більше 0,1%;
- 2) приготування комплексної хімічної добавки – дозування та змішування компонентів;
- 3) приготування сухої суміші – дозування та змішування цементу, піску, графітового порошку і комплексної хімічної добавки;
- 4) фасування сухої суміші у мішки 25 кг із вологонепроникного паперу;
- 5) складування сухої суміші у мішках, відвантаження споживачу.

6 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ

Для забезпечення якості продукції системою контролю має включати:

- вхідний контроль якості матеріалів;
- поопераційний контроль технологічних процесів;
- вихідний контроль якості готової продукції

Всі параметри контролюються на відповідність вимогам нормативних документів і технологічного регламенту.

Параметри контролю якості матеріалів і готової продукції наведені у табл. 1.

Таблиця 1
 Параметри контролю якості матеріалів і готової продукції

Найменування матеріалу	Місце відбору проб	Контрольований параметр		Метод випробування, чинний нормативний документ	Періодичність випробувань
		найменування	величина		
Вхідний контроль якості матеріалів					
Портландцемент ПЦ І-500 або ПЦ ІІ-А/Ш-500 ДСТУ Б В.2.7-46	Бункер для цементу	Міцність на стиск	неменше 50 МПа	Стандартний руйнівний за ДСТУ Б В. 2.7-187	Кожна партія цементу
Пісок кварцовий ДСТУ Б В.2.7-32 з модулем крупності 1,2–1,5	Бункер для піску	Наявність пилюватих, глинистих і мулистих частинок	Небільше 2 %	Відмулювання за ГОСТ 8735	Кожна партія піску
		Вміст зернин більших 0,63 мм	Небільше 5 %	Ситовий аналіз за ГОСТ 8735	
		Вологість	Небільше 1 %	Висушування і зважування за ГОСТ 8735	
Графітовий порошок	Бункер для графіту	Вміст частинок більших 0,2 мм	небільше 1 %	Сито 02, ваги електронні	Кожна партія графіту
Хімічні добавки – компоненти КХД	Ємкості для хімічних добавок	Вміст частинок більших 0,2 мм	небільше 0,01%	«	Кожна партія добавки
Вихідний контроль якості готової продукції					
Готова суха суміш	Змішувач	Вологість	небільше 1 %	Висушування і зважування за ГОСТ 8735	1 раз у зміну
		Міцність на стиск	неменше 20 МПа	Стандартний руйнівний за ДСТУ Б В. 2.7-187	
		Міцність зчеплення з основою	неменше 2 МПа	Відриву штампку за ДСТУ Б В.2.7-126	

7 ТРАНСПОРТУВАННЯ

Транспортування суміші композиції має здійснюватися згідно з ГОСТ 22237.

Суміш повинна транспортуватися: у дрібному розфасуванні – у мішках), в упакованому вигляді – у транспортних пакетах або навалом.

Транспортування в дрібному розфасуванні – у мішках має здійснюватися автомобільним транспортом або у критих залізничних вагонах.

Транспортування в упакованому вигляді – у транспортних пакетах має здійснюватися універсальними транспортними засобами – критими автомобілями, вагонами, суднами у транспортних пакетах поштучно або у контейнерах відповідно до правил перевезення і кріплень вантажів, що діють на даному виді транспорту. Транспортування суміші пакетами в термоусадочній плівці залізницею слід здійснювати у чотиривісних піввагонах згідно з технічними умовами на розміщення і кріплення таких пакетів.

Транспортування навалом має здійснюватися у спеціалізованих автоцементовозах, вагонах-цементовозах, судах або у спеціальних ємкостях за погодженням зі споживачем

Транспортні пакети слід формувати із застосуванням плоских піддонів за ГОСТ 9078, термоусадочної поліетиленової плівки за ГОСТ 25951 або інших засобів пакування за відповідною нормативно-технічною документацією та дотриманням вимог ГОСТ 21929. Пакети слід формувати пошарово із мішків та щільно обжимати плівкою. Довжина пакетів в термоусадочній плівці повинна бути в межах 1260–1290 мм, ширина – 1030–1060 мм, висота – 880–950 мм. Маса пакету нетто не повинна перевищувати 2000 кг. Пакети в термоусадочній плівці повинні бути герметичні.

Контейнери, що застосовуються для транспортування суміші, повинні відповідати вимогам нормативно-технічної документації на них.

Виробник зобов'язаний поставляти сумішу справному і очищеному транспортному засобі.

Під час навантаження і транспортуванні суміші без упаковки або в мішках вона повинна бути захищена від впливу вологи і забруднення сторонніми домішками.

Транспортні засоби повинні бути завантажені до повної вантажопідйомності або повної місткості кузова.

8 ЗБЕРІГАННЯ

Зберігання композиції має здійснюватися згідно з ГОСТ 22237.

Композиція повинна зберігатися окремо за видами і марками: навалом – в силосі або іншій критій ємкості; в упаковці – в критих сухих приміщеннях. Змішування композиції різних видів і марок, її забруднення сторонніми домішками, зволоження не допускаються.

У разі зберігання мішки з композицією потрібно укладати на піддони в ряди тісно один до одного, але із забезпеченням вільного підходу до них, висотою не більше 1,8 м.

Зберігання композиції в пакетах, виготовлених із застосуванням термоусадочної плівки, не вимагає захисту від атмосферних опадів за умови цілісності пакету.

Для захисту пакетів від замерзання і руйнування термоусадочної плівки їх слід укладати на піддони в штабелі висотою не більше чотирьох ярусів.

Не допускається зберігати композицію без упаковки в складах амбарного типу.

9 ВКАЗІВКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ КОНСТРУКЦІЙ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ

Електропровідну композицію на основі портландцементу з комплексною хімічною добавкою та графітовим наповнювачем слід застосовувати для екранного захисту від електрокорозії конструкцій пасажирських платформ на ділянках залізниць, електрифікованих постійним струмом, у складі конструктивно-технологічних рішень, наведених на рис. 2.

Вузол сполучення електроду заземлення з екраном слід забезпечувати згідно з рис. 2, б–г. Сполучення слід здійснювати за допомогою сталевий перфорованій (для

забезпечення зчеплення з композицією) пластини товщиною 5 мм, площа якої має складати 4 % від загальної площі екрану за проектом. Сполучну пластину слід прикріплювати на торцеву грань опори з боку, протилежного рейковій колії, анкерами, туго забитими у попередньо просвердлені отвори. Анкери мають бути уварені в пластину до її встановлення. Під пластину безпосередньо перед її установленням на опору слід нанести шар електропровідної композиції товщиною 7–10 мм. Пластина та заземлені металеві перила платформи мають бути з'єднані між собою різьбовим (рис. 2, в) або зварним (рис. 2, г) провідником із сталевого дроту діаметром 8 мм.

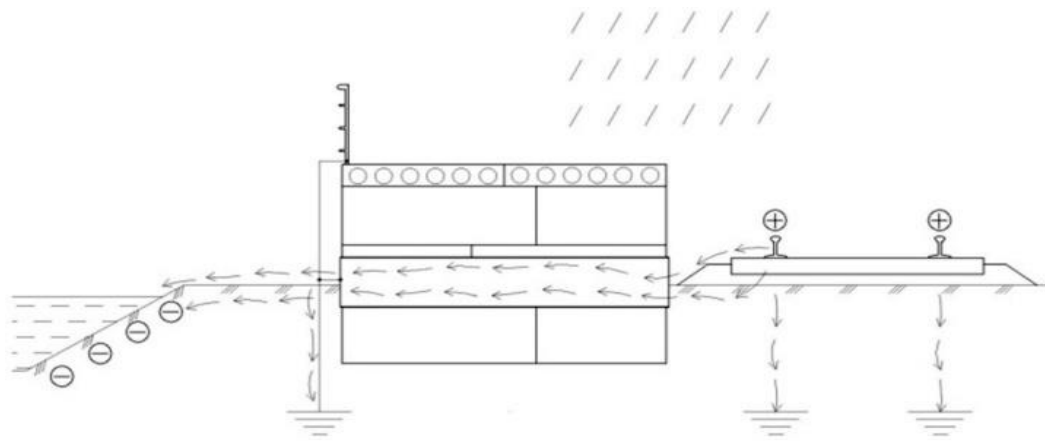
Нанесення композиції слід здійснювати за температури повітря не менше: середньодобової – 10°C, мінімальної протягом доби – 5°C.

Перед улаштуванням екранного захисту навколо опори необхідно видалити ґрунт на глибину 150 мм, а її поверхню, на якій згідно проекту улаштовується екран, очистити від нещільного пошкодженого шару, бруду та промити водою.

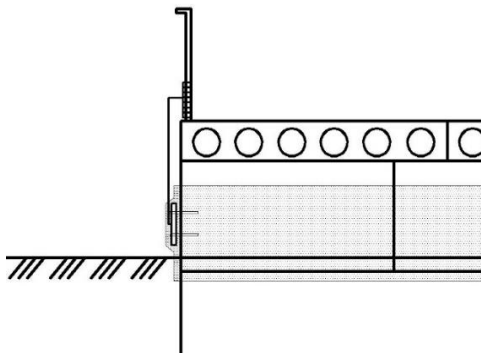
Суху суміш композиції потрібно замішати водою, забезпечуючи водотверде відношення 0,15-0,17. Для цього суміш слід поступово засипати у ємкість об'ємом 10–15 л з попередньо дозованою водою, постійно перемішуючи її за допомогою низько-обертової електродрилі з насадком-міксером. Перемішування слід здійснювати протягом не менше 5 хвилин до візуальної однорідності.

Суміш слід наносити на попередньо змочену водою поверхню опори згідно проекту шаром товщиною 7–10 мм, у т.ч. на поверхню сполучної пластини, прийомами штукатурних робіт. Після нанесення композиції протягом 3 діб за нею здійснюють вологий ухід, змочуючи її протягом дня 1 раз на 3 години, та укриваючи від прямих сонячних променів.

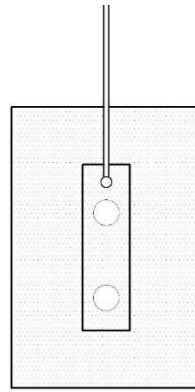
а)



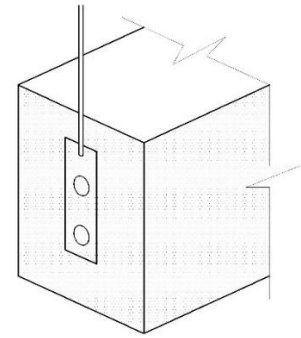
б)



в)



г)



д)

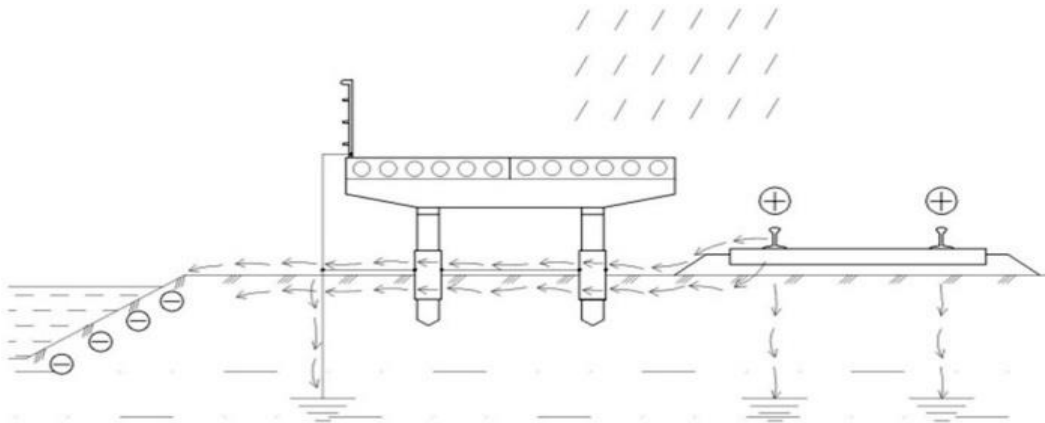


Рис. 2 Конструктивно-технологічні рішення захисту від електрокорозії заземленими екранами-покриттями конструкцій високих пасажирських платформ з опорами із бетонних блоків (а–г) і залізобетонних стояків і ригелів (д): а, д – загальні схеми; б–г – вузол сполучення електроду заземлення з екраном з різьбовим (в) та зварним (г) кріпленням провідника заземлення до сполучної пластини

ДОДАТОК Г

УЗГОДЖЕНО:

Проректор з наукової роботи
Українського державного університету
залізничного транспорту

д.т.н., проф. Г.Л. Ватуля

«24» січня 2018 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор ВАТ «Віа-Телос»

Т.В. Губіна

«25» січня 2018 р.

АКТ

виготовлення дослідних партій електропровідних композицій
для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії

м. Харків

24.01.2018

Ми, що підписалися нижче, директор ВАТ «Віа-Телос» Губіна Т.В. та Пługін А.А., Костюк Т.О., Прошчін О.Ю., Пługін О.А., Касьянов В.В., Конєв В.В., Бондаренко Д.О., Борзяк О.С., Савчук Ю.Ю. – автори розробок:

- електропровідна композиція проникної дії на основі портландцементу для гідроізоляції та захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (патент на винахід 113600 UA);

- електропровідна шпаклювальна композиція на основі силікату натрію для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (заявка на винахід № а2017 02778),

склали цей акт про те, що у січні 2018 р. ВАТ «Віа-Телос» (м. Харків) було виготовлено дослідні партії:

- композиції за патентом 113600 UA – в кількості 500 кг;

- композиції за заявкою на винахід № а2017 02778 – в кількості 500 кг.

Дослідні партії композицій призначені для дослідного ремонту з захистом від електрокорозії заземленими екранами-покриттями опор високої пасажирської платформи з.п. Високий Південної залізниці, обраних для такого ремонту актом від 18.10.2017.

Від ВАТ «Віа-Телос»

Т.В. Губіна

Від авторів:

А.А. Пługін

Т.О. Костюк

О.Ю. Прошчін

О.А. Пługін

В.В. Касьянов

В.В. Конєв

Д.О. Бондаренко

О.С. Борзяк

Ю.Ю. Савчук

УЗГОДЖЕНО:

Проректор з наукової роботи
Українського державного
університету залізничного
транспорту

д.т.н., проф.

Г.Л. Ватуля

18 жовтня 2017 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник Харківського
територіального управління філії
«Центр будівельно-монтажних робіт
та експлуатації будівель та споруд»
ПАТ «Укрзалізниця»

О.Б. Чумаченко

«19» жовтня 2017 р.

АКТ

вибору дослідної ділянки для впровадження захисту конструкцій
високих пасажирських платформ від електрокорозії
заземленими екранами-покриттями із електропровідних композицій

м. Харків


18.10.2017

Ми, що підписалися нижче, головний інженер Харківського територіального управління філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель та споруд» ПАТ «Укрзалізниця» Конев В.В., професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДУЗТ Пругін Д.А., докторант кафедри будівельної механіки та гідравліки УкрДУЗТ Пругін О.А., молодший науковий співробітник кафедри БМКС Касьянов В.В. склали цей акт про те, що 18.10.2017 здійснили огляд залізобетонних конструкцій високих пасажирських платформ з опорами із залізобетонних стояків та ригелів на з.п. Науковий, Карачівка, Високий, Верещаківка та з опорами із бетонних блоків на з.п. Липовий Гай, Високий, Артемівка Південної залізниці. Огляд зроблено на предмет вибору ділянки для дослідного впровадження електропровідних композицій для захисту від електрокорозії за допомогою заземлених екранів-покриттів:


- електропровідної композиції проникної дії на основі портландцементу для гідроізоляції та захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (патент на винахід 113600 UA);
- електропровідної шпаклювальної композиції на основі силікату натрію для захисту залізобетонних конструкцій від електрокорозії (заявка на винахід № а2017 02778).

На момент огляду більшість опор мали характерні електрокорозійні пошкодження – тріщини у залізобетонних стояках на рівні землі, руйнування бетону опор із блоків. Згідно з розробленими критеріями вибору конструкти-

вно-технологічного рішення ремонту і захисту для дослідного впровадження композицій за пат.113600 UA і заявкою № а2017 02778 обрано опори з тріщинами та поверхневим руйнуванням бетону, що не знижують їх несучої здатності, на з.п. Артемівка та Високий.


В.В. Конєв


Д.А. Плуґін


О.А. Плуґін


В.В. Касьянов

ДОДАТОК Д

Міністерство інфраструктури України
Українська державна академія залізничного транспорту

Узгоджено:


Начальник Головного управління
будівельно-монтажних робіт
і цивільних споруд Укрзалізниці


В.В. Палій

« » _____ 2011 р.

Затверджую:

Проректор академії з наукової роботи

д.т.н., проф.  Д.В. Ломотко

« » _____ 2011 р.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

із захисту та підсилення конструкцій пасажирських платформ
на електрифікованих ділянках залізниць

Перший заступник Начальника
Головного управління
будівельно-монтажних робіт
і цивільних споруд Укрзалізниці


М.І. Петрашук

« » _____ 2011 р.

Зав. кафедри БМКС

д.т.н., проф.  А.А. Плугін

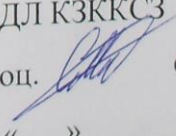
« » _____ 2011 р.

Науковий керівник

д.х.н., проф.  А.М. Плугін

« » _____ 2011 р.

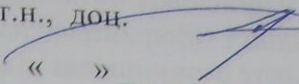
Зав. ГНДЛ КЗККСЗ

к.т.н., доц.  С.В. Мірошніченко


« » _____ 2011 р.

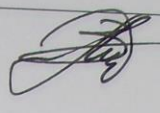
Харків 2011

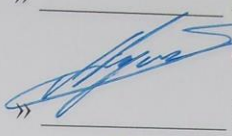
Відповідальний виконавець

Пр.н.с., к.т.н., доц.  **Д.А. Плугін**
« » _____ 2011 р.

Виконавці

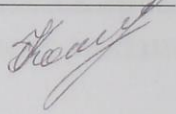
Пр.н.с., к.т.н., доц.  **О.А. Калінін**
« » _____ 2011 р.

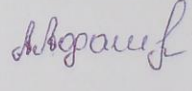
С.н.с., к.т.н.  **В.А. Лютий**
« » _____ 2011 р.

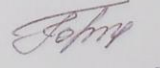
С.н.с., к.т.н.  **О.А. Плугін**
« » _____ 2011 р.

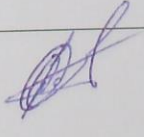
С.н.с., к.т.н.  **О.С. Борзяк**
« » _____ 2011 р.

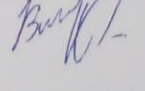
Н.с.  **О.А. Дудін**
« » _____ 2011 р.

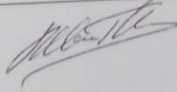
Н.с.  **О.А. Конєв**
« » _____ 2011 р.

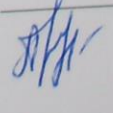
Н.с.  **О.В. Афанасьєв**
« » _____ 2011 р.


Н.с.  **Ю.М. Горбачова**
« » _____ 2011 р.

Н.с.  **О.В. Романенко**
« » _____ 2011 р.

М.н.с.  **В.В. Касьянов**
« » _____ 2011 р.

М.н.с.  **І.Г. Корнієнко**
« » _____ 2011 р.

Інж.  **Н.М. Паргала**
« » _____ 2011 р.

Інж.  **С.Г. Нестеренко**
« » _____ 2011 р.

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Українська державна академія залізничного транспорту

Узгоджено:


Перший заступник начальника
Головного управління
будівельно-монтажних робіт
і цивільних споруд Укрзалізниці


М.І. Петрашук
« » _____ 2012 р.



Затверджую:

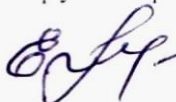
Проректор УкрДАЗТ
з наукової роботи


Д.В. Ломотьюко
« » _____ 2012 р.



РЕКОМЕНДАЦІЇ з усунення тріщин у стінах будівель станційних комплексів

Начальник управління
експлуатації і водопостачання
Головного управління
будівельно-монтажних робіт
і цивільних споруд Укрзалізниці


Є.Г. Щур
« » _____ 2012 р.

Зав. кафедри БМКС

д.т.н., проф. 
« » _____ 2012 р.

Науковий керівник

д.х.н., проф. 
« » _____ 2012 р.

Зав. ГНДЛ ПОСЗБ

к.т.н., доц. 
« » _____ 2012 р.

Харків 2012

Відповідальний виконавець

Пр.н.с., к.т.н., доц.  **С.В. Мірошніченко**
« » _____ 2012 р.

Виконавці

Пр.н.с., к.т.н., доц.  **Д.А. Плугін**
« » _____ 2012 р.

Пр.н.с., к.т.н., доц.  **Л.В. Трикоз**
« » _____ 2012 р.

С.н.с., к.т.н., доц.  **В.А. Лютий**
« » _____ 2012 р.

С.н.с., к.т.н.  **О.А. Плугін**
« » _____ 2012 р.

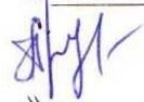
С.н.с., к.т.н.  **О.С. Борзяк**
« » _____ 2012 р.

Н.с.  **О.А. Дудін**
« » _____ 2012 р.

Інж.  **О.А. Забіяка**
« » _____ 2012 р.

Інж.  **В.В. Кас'янов**
« » _____ 2012 р.

Інж.  **С.Г. Нестеренко**
« » _____ 2012 р.

Інж.  **Н.М. Партала**
« » _____ 2012 р.

Міністерство інфраструктури України
 Державне підприємство «Південна залізниця»
 Український державний університет залізничного транспорту

Затверджую:

Головний інженер, перший заступник
 начальника Південної залізниці


О.Д. Герасименко
 « _____ » 2015 р.



РЕКОМЕНДАЦІЇ

із виявлення зон надлишкового заряду, створюваного струмами витоку з рейкових колій, та захисту від руйнування високих пасажирських платформ у цих зонах

Узгоджено:

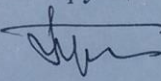
Начальник служби будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд Південної залізниці


В.І. Канівець
 « _____ » 2015 р.




Розроблено:

Завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд

д.т.н., проф.  **А.А. Плугін**
 « _____ » 2015 р.

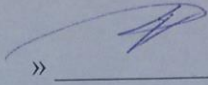
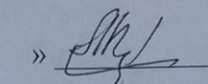

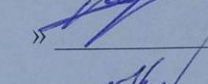
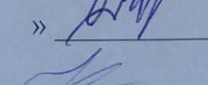
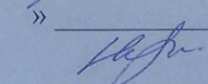
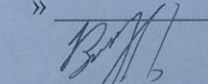
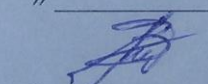
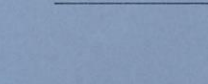
Зав. ГНДЛ КЗККС

к.т.н., доц.  **С.В. Мірошніченко**
 « _____ » 2015 р.

Харків 2015

Продовження титульного аркуша

Розроблено:

Д.т.н., проф.		Д.А. Пługін
« »	_____	2015 р.
Д.т.н., проф.		А.М. Пługін
« »	_____	2015 р.
Інженер		В.В. Конєв
« »	_____	2015 р.
К.т.н., доц.		О.А. Пługін
« »	_____	2015 р.
К.т.н., доц.		О.А. Калінін
« »	_____	2015 р.
К.т.н., доц.		О.С. Борзяк
« »	_____	2015 р.
Інженер		С.Г. Нестеренко
« »	_____	2015 р.
Інженер		В.В. Касьянов
« »	_____	2015 р.
К.т.н., доц.		В.А. Лютий
« »	_____	2015 р.

ДОДАТОК Є

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи Української
державної академії залізничного транспорту

д.т.н., проф. Д.В.Ломотько

2012 р.

ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ № 5

засідання кафедри «Будівельні матеріали, конструкції та споруди»
Української державної академії залізничного транспорту

28 листопада 2012 р.

ПРИСУТНІ: 25 чол.

СЛУХАЛИ:

Зав. кафедри, проф. Пługіна А.А. про розподіл особистого внеску членів кафедри в загальний економічний ефект, одержаний у 2006–2012 рр. замовниками науково-дослідних робіт від використання матеріалів і конструктивно-технологічних рішень, розроблених на кафедрі.

УХВАЛИЛИ:

Розподілити особистий внесок в одержаний загальний економічний ефект таким чином:

№	Найменування робіт	П.І.Б.	Особистий внесок	
			%	грн.
1	2	3	4	5
1	Розробка робочого проекту ремонту з.б. конструкцій шляхопроводу на 802 км діл. Гребінка – Черкаси Ремонт з.б. конструкцій шляхопроводу на 802 км діл. Гребінка – Черкаси (2006 р.)	Д.х.н., проф. Пługін А.М.	12	94 392
		Д.т.н., проф. Пługін А.А.	12	94 392
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	11	86 526
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	11	86 526
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	11	86 526
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	11	86 526
		К.т.н., доц. Лютий В.А.	9	70 794
		К.т.н., доц. Никитинський А.В.	8	62 928
		К.т.н., доц. Герасименко О.С.	8	62 928
	К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	7	55 062	
	Всього по об'єкту		786 600	
2	Розробка робочого проекту ремонту водопропускної труби на 111 км ділянки Харків – Куп'янськ Ремонт водопропускної труби на 111 км ділянки Харків – Куп'янськ (2007 р.)	Д.х.н., проф. Пługін А.М.	21	172 200
		Д.т.н., проф. Пługін А.А.	18	147 600
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	11	90 200
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	11	90 200
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	82 000
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	8	65 600
		К.т.н., доц. Афанасьєв О.В.	7	57 400
		К.т.н., доц. Горбачова Ю.М.	7	57 400
		Ас. Романенко О.В.	3	24 600
		К.т.н., доц. Герасименко О.С.	2	16 400
	К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	2	16 400	
	Всього по об'єкту		820 000	

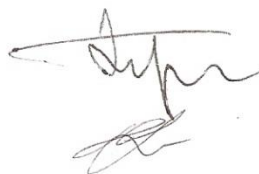
1	2	3	4	5
3	Розробка робочого проекту ремонту водопропускної труби на 365 км ділянці Основа – Букіне	Д.х.н., проф. Пługін А.М.	15	164 139
		Д.т.н., проф. Пługін А.А.	12	131 311
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	10	109 426
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	109 426
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	10	109 426
	Ремонт водопропускної труби на 365 км ділянці Основа – Букіне (2007 р.)	К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	109 426
		К.т.н., доц. Борзьяк О.С.	7	76 598
		К.т.н., доц. Лютий В.А.	5	54 713
		К.т.н., доц. Афанасьєв О.В.	4	43 770
		К.т.н., доц. Горбачова Ю.М.	4	43 770
		К.т.н. Дудін О.А.	4	43 770
		К.т.н., доц. Герасименко О.С.	3	32 828
		К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	3	32 828
		Ас. Романенко О.В.	3	32 828
	Всього по об'єкту			1 094 260
4	Ремонт водопропускної труби на 19 км ділянці Харків – Люботин (2007 р.)	Д.х.н., проф. Пługін А.М.	15	111 855
		Д.т.н., проф. Пługін А.А.	12	89 484
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	10	74 570
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	10	74 570
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	10	74 570
	Ремонт опор моста на 377 км ділянці Основа – Букіне» (2012 р.)	К.т.н., доц. Пługін О.А.	10	74 570
		К.т.н., доц. Лютий В.А.	5	37 285
		К.т.н., доц. Афанасьєв О.В.	5	37 285
		К.т.н., доц. Горбачова Ю.М.	5	37 285
		К.т.н. Дудін О.А.	5	37 285
		Ас. Романенко О.В.	4	29 828
		К.т.н., доц. Борзьяк О.С.	3	22 371
		К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	3	22 371
		К.т.н., доц. Герасименко О.С.	3	22 371
	Всього по об'єкту			745 700
5	Ремонт опор моста на 377 км ділянці Основа – Букіне» (2012 р.)	Д.т.н., проф. Пługін А.А.	10	82 714
		Д.х.н., проф. Пługін А.М.	10	82 714
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	8	66 171
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	8	66 171
		К.т.н., доц. Пługін Д.А.	8	66 171
	Ремонт опор моста на 377 км ділянці Основа – Букіне (2012 р.)	К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	8	66 171
		К.т.н., доц. Пługін О.А.	8	66 171
		К.т.н., доц. Борзьяк О.С.	8	66 171
		К.т.н., доц. Лютий В.А.	7	57 900
		Асп. Забіяка О.А.	5	41 357
		Асп. Конєв О.А.	5	41 357
		Асп. Кас'янов В.В.	5	41 357
		Асп. Нестеренко С.Г.	5	41 357
		Асп. Партала Н.М.	5	41 357
	Всього по об'єкту			827 136

1	2	3	4	5
6	Капітальний ремонт шляхопроводу №26 на перегоні Са-ртана – Північна ВАТ МК «Азовсталь» (2007 р.)	Д.т.н., проф. Плугін А.А.	10	3 572
		Д.х.н., проф. Плугін А.М.	10	3 572
		К.т.н., доц. Плугін О.А.	10	3 572
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	3 215
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	3 215
		К.т.н., доц. Плугін Д.А.	9	3 215
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	3 215
		Ас. Романенко О.В.	9	3 215
		К.т.н., доц. Подтележнікова І.В.	8	2 858
		К.т.н., доц. Афанасьєв О.В.	8	2 858
		К.т.н. Дудін О.А.	5	1 786
		К.т.н., доц. Горбачова Ю.М.	4	1 429
	Всього по об'єкту		35 724	
7	Розробка безпропарювальної технології виробництва залізобетонних шпал на підприємстві ТОВ «ГД Україна Промресурс» (2009 р.)	Д.х.н., проф. Плугін А.М.	12	144 768
		Д.т.н., проф. Плугін А.А.	12	144 768
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	11	132 704
		Ас. Романенко О.В.	11	132 704
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	10	120 640
		К.т.н., доц. Плугін Д.А.	10	120 640
		К.т.н., доц. Плугін О.А.	10	120 640
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	5	60 320
		К.т.н. Дудін О.А.	5	60 320
		Асп. Конєв О.А.	5	60 320
		Асп. Забіяка О.А.	5	72 384
		Ас. Корнієнко І.Г.	4	36 192
	Всього по об'єкту		1 206 402	
8	Інженерно-геологічні вишукування на ст. Кислівка Південної залізниці Обстеження і розробка передпроектних рішень будівлі вокзалу ст. Кислівка Південної залізниці Підсилення фундаментів і кладки стін будівлі вокзалу ст. Кислівка Південної залізниці (2011 р.)	Д.т.н., проф. Плугін А.А.	10	593391
		Інж. Палій В.В.	9	534052
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	534052
		К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	9	534052
		К.т.н., доц. Плугін О.А.	9	534052
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	534052
		Інж. Забіяка О.А.	4	237357
		Асп. Конєв О.А.	4	237357
		Асп. Нестеренко С.Г.	3	178017
		Д.х.н., проф. Плугін А.М.	10	593391
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	534052
		К.т.н., доц. Плугін Д.А.	9	534052
		Асп. Кас'янов В.В.	3	178017
		Асп. Партала Н.М.	3	178017
	Всього по об'єкту		5 933 913	

1	2	3	4	5
9	Інженерно-геологічні вишукування на ст. Кислівка Південної залізниці Обстеження і розробка передпроектних рішень будівлі поста ЕЦ ст. Кислівка Південної залізниці Підсилення фундаментів і кладки стін будівлі поста ЕЦ ст. Кислівка Південної залізниці (2011 р.)	Д.т.н., проф. Плугін А.А.	10	193241
		Інж. Палій В.В.	9	173917
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	173917
		К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	9	173917
		К.т.н., доц. Плугін О.А.	9	173917
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	173917
		Інж. Забіяка О.А.	4	77296
		Асп. Конєв О.А.	4	77296
		Асп. Нестеренко С.Г.	3	57972
		Д.х.н., проф. Плугін А.М.	10	193241
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	173917
		К.т.н., доц. Плугін Д.А.	9	173917
		Асп. Кас'янов В.В.	3	57972
		Асп. Партала Н.М.	3	1 932 407
10	Інженерно-геологічні вишукування основи будівлі посту ЕЦ ст.Кагамлицька Південної залізниці Обстеження і розробка проектних рішень капітального ремонту будівлі посту ЕЦ ст.Кагамлицька Південної залізниці Підсилення кладки стін будівлі посту ЕЦ ст.Кагамлицька Південної залізниці (2012 р.)	Д.т.н., проф. Плугін А.А.	10	1438747
		Інж. Палій В.В.	9	1294872
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	1294872
		К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	9	1294872
		К.т.н., доц. Плугін О.А.	9	1294872
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	1294872
		Інж. Забіяка О.А.	4	575499
		Асп. Конєв О.А.	4	575499
		Асп. Нестеренко С.Г.	3	431624
		Д.х.н., проф. Плугін А.М.	10	1438747
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	1294872
		К.т.н., доц. Плугін Д.А.	9	1294872
		Асп. Кас'янов В.В.	3	431624
		Асп. Партала Н.М.	3	431624
	Всього по об'єкту		14 387 467	
11	Інженерно-геологічні вишукування основи службово-технічної будівлі ст.Череднички Південної залізниці Обстеження і розробка проектних рішень капітального ремонту службово-технічної будівлі ст.Череднички Південної залізниці Підсилення кладки стін службово-технічної будівлі ст.Череднички Південної залізниці (2012 р.)	Д.т.н., проф. Плугін А.А.	10	245 840
		Інж. Палій В.В.	9	221 256
		К.т.н., доц. Мірошніченко С.В.	9	221 256
		К.т.н., доц. Трикоз Л.В.	9	221 256
		К.т.н., доц. Плугін О.А.	9	221 256
		К.т.н., доц. Борзяк О.С.	9	221 256
		Інж. Забіяка О.А.	4	98 336
		Асп. Конєв О.А.	4	98 336
		Асп. Нестеренко С.Г.	3	73 752
		Д.х.н., проф. Плугін А.М.	10	245 840
		К.т.н., доц. Калінін О.А.	9	221 256
		К.т.н., доц. Плугін Д.А.	9	221 256
		Асп. Кас'янов В.В.	3	73 752
		Асп. Партала Н.М.	3	73 752
	Всього по об'єкту		2 458 403	
	Всього по об'єктам		30 570 012	

Голова засідання
зав. кафедри д.т.н., проф.

Секретар



А.А. Плугін

С.Г. Нестеренко

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник служби колії
Південної залізниці

І.В. Куриляк

2012 р.

АКТ

впровадження результатів науково-дослідних робіт

від « » _____ 2012 р.

Ми, комісія у складі:

- від служби колії Південної залізниці начальник відділу інженерних споруд Курдюков О.В.;

- від кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту: зав. кафедри Пługін А.А.; зав. ГНДЛ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В.; зав. ГНДЛ підрейкових основ і спецзалізобетону Калінін О.А.

склали цей акт в тому, що провели перевірку результатів впровадження науково-дослідних робіт, виконаних кафедрою БМКС УкрДАЗТ у 2006–12 рр. на об'єктах Південної залізниці, наведених в таблиці.


Встановлено, що впровадження виконувалось у складі: обстеження технічного стану споруд; виявлення факторів, що обумовили пошкодження; оцінки їх залишкового ресурсу та прогнозу довговічності за новими методиками; розробки нових конструктивно-технологічних рішень з відновлення експлуатаційних властивостей і захисту при капітальному ремонті; розробки робочих проектів і проведення ремонтних робіт. Означені розробки проводилися згідно договорам між службою колії Південної залізниці і Українською державною академією залізничного транспорту або її підрозділом – Східноукраїнським науково-інноваційним центром залізничного транспорту (табл.). Авторами розробок є: д.т.н., проф. Пługін А.А., д.х.н., проф. Пługін А.М., к.т.н., доценти Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Пługін Д.А., Трикоз Л.В., Пługін О.А., Борзяк О.С., Лютий В.А., Герасименко О.С., Подтележнікова І.В., Афанасьєв О.В., Горбачова Ю.М., інженери Забіяка О.А., Конєв О.А., Кас'янов В.В., Нестеренко С.Г., Партала Н.М.

В результаті виконання цього комплексу робіт технічний стан означених об'єктів був повністю відновлений (знято обмеження швидкості руху і т.п.), термін служби продовжений. Був досягнутий економічний ефект за рахунок розробки менш матеріаломістких і трудомістких конструктивних і технологічних рішень у порівнянні з типовими, без заміни крупних конструкцій, без залучення важкої техніки і зупинки руху поїздів. Досягнута економія визначена як різниця між орієнтовною вартістю реалізації типових конструктивних і технологічних рішень з фактичними витратами на проведення робіт.

Загальний економічний ефект за період 2006–12 рр. склав 4 273 696 грн. або 712 283 грн. на рік.

Таблиця

№	Найменування проведених робіт	№ договору	Вартість робіт, грн.		Досягнута або очікувана економія, грн.
			виконаних	за традиційними рішеннями (орієнтовна)	
1	Розробка робочого проекту ремонту з.б. конструкцій шляхопроводу на 802 км діл. Гребінка – Черкаси	П/П-06688/НЮ від 01.03.2006	44 400	1 128 600	786 600
	Ремонт з.б. конструкцій шляхопроводу на 802 км діл. Гребінка – Черкаси	П/П-061454/НЮ від 03.04.2006	297 600		
2	Розробка робочого проекту ремонту водопропускної труби на 111 км ділянки Харків-Куп'янськ	П/П-062975/НЮ від 25.12.2006	63 000	1 171 000	820 000
	Ремонт водопропускної труби на 111 км ділянки Харків – Куп'янськ	П/П-07587/НЮ від 23.03.2007	288 000		
3	Розробка робочого проекту ремонту водопропускної труби на 365 км ділянки Основа – Букине	П/П-062974/НЮ від 25.12.2006	90 000	1 580 260	1 094 260
	Ремонт водопропускної труби на 365 км ділянки Основа – Букине	П/П-07586/НЮ від 23.03.2007	396 000		
4	Ремонт водопропускної труби на 19 км ділянки Харків – Люботин	П/П-071913/НЮ від 15.06.2007 (6/20-2007)	390 000	1 135 700	745 700
5	Робочий проект «Ремонт опор моста на 377 км ділянки Основа – Букине»	П/П-12616/НЮ від 24.04.2012 (60/3-2012)	111 942	1 186 760	827 136
	Ремонт опор моста на 377 км ділянки Основа – Букине	Робота у плані капремонту	247 682		
Всього			1 928 624	6 202 320	4 273 696



О.В. Курдюков



А.А. Плугін



С.В. Мірошніченко



О.А. Калінін

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Головний інженер-перший заступник
начальника Південної залізниці
«15» XV манень 2012 р.А К Т
готовності об'єкта до експлуатації

м.Кременчук

№ 18«12» XI 2012р.**Підсилення будівлі поста ЕЦ ст. Кагамлицька**

(найменування об'єкта згідно з проектом, характер будівництва: нове, реконструкція,

реставрація, капітальний ремонт, технічне переоснащення, тощо)

м. Кременчук вул. Аерофлоцька, 93

(адреса місцезнаходження об'єкта)

1. Будівництво здійснювалось генеральним підрядником
структурним підрозділом служби будівельно-монтажних робіт та цивільних споруд на Південній залізниці Кременчуцьким будівельно-монтажним експлуатаційним управлінням

який виконав будівельно - монтажні роботи
(зазначаються види робіт)та субпідрядними організаціями, _____
(найменування організації)які виконали _____
(зазначаються види виконаних робіт)

2. Автор конструктивно-технологічних рішень по ремонту будівлі поста
Українська державна академія залізничного транспорту (Плугін А.А., Палій В.В., Мірошніченко С.В., Трикоз Л.В., Плугін О.А., Борзяк О.С., Забіяка О.А., Конєв О.А., Нестеренко С.Г.)
(найменування організації, П.І.Б. співавторів)

який виконав роботи з підготовки конструктивно-технологічні рішення
(назва частин або розділів проектної документації)та супідрядними організаціями _____
(найменування організації)які виконали _____
(зазначають види виконаних робіт)

3. Проектна документація затверджена _____
(назва, дата і номер розпорядчого документа замовника)

4. Будівельно-монтажні роботи виконано у період з:
01.07.2012. р. 25.10.2012 р.
(початок робіт – місяць, рік) (закінчення робіт – місяць, рік)

5. Основні показники об'єкта (крім житлових будинків) – потужність, продуктивність, виробнича площа, протяжність, місткість, обсяг, пропускна, провізна спроможність, кількість робочих місць (заповнюється в одиницях виміру відповідно до цільової продукції або основних видів послуг):

Основний показник	Одиниця виміру	За проектом		За архітектурно-технічним паспортом	
		загальний	у тому числі пускового комплексу або черги	загальний	у тому числі пускового комплексу або черги
<i>Загальна площа</i>	<i>м2</i>	<i>693,5</i>	<i>693,5</i>	<i>693,5</i>	<i>693,5</i>
<i>Будівельний об'єм</i>	<i>м3</i>	<i>2988</i>	<i>2988</i>	<i>2988</i>	<i>2988</i>

7. На об'єкті виконані згідно з державними будівельними нормами всі роботи, передбачені проектною документацією. Обладнання встановлено згідно з актами про його прийняття після індивідуального та комплексного випробування комісіями.

8. Заходи з охорони праці, забезпечення вибухонебезпеки, пожежної безпеки, охорони навколишнього природного середовища і антисейсмічні заходи, передбачені проектом виконано _____
(відомості про проведення)

10. Кошторисна вартість за затвердженою проектною документацією: усього 476,038 тис.грн. у тому числі витрати, пов'язані з будівельно-монтажними роботами, 476,038 тис.грн., витрати, пов'язані з придбанням машин, обладнання та інвентарю, _____ - _____ тис. грн.

11. Вартість основних фондів, які приймаються в експлуатацію 134,453 тис.грн., у тому числі витрати, пов'язані з будівельно-монтажними роботами, 134,453 тис.грн., витрати, пов'язані з придбанням машин, обладнання та інвентарю, _____ тис.грн..

Вважати закінчений будівництвом об'єкт

Підсилення будівлі поста ЕЦ ст. Козамлишка

готовим до експлуатації.

Голова комісії

ДНГ-4

(посада)



(підпис)

В.О. Вітченко

(прізвище, ім'я та по батькові)

Замовник

Б.С. Бесал

(посада)



В.І. Грищенко

(прізвище, ім'я та по батькові)

Генпідрядник

Головний інженер БМЕУ-7

(посада)

О.П. Бобрішев

(прізвище, ім'я та по батькові)

Укр ДАЗТ

Зав. ГНДЛ

(посада)



С.В. Мірошніченко

(прізвище, ім'я та по батькові)

В.о. ШУТ-8.

(посада)



Г.В. Говоруха

(прізвище, ім'я та по батькові)

Голова ППО БМЕУ-7

(посада)

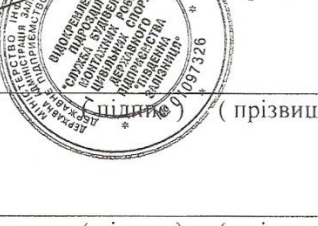


Н.Г. Байдюкова

(прізвище, ім'я та по батькові)

Катамлякская Зале ДС

(посада)



А.Н. Бовн

(прізвище, ім'я та по батькові)

Головний інженер служби БМЕУ-7

(посада)

В.В. Конєв

(прізвище, ім'я та по батькові)

(посада)

(прізвище, ім'я та по батькові)

(посада)

(підпис) (прізвище, ім'я та по батькові)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Начальник служби будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд
Південної залізниці



О.Д. Герасименко

11 2012 р.

АКТ

впровадження результатів науково-дослідних робіт

від «28» 11 2012 р.

Ми, комісія у складі:

- від служби будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд Південної залізниці головний інженер Конєв В.В.;
 - від кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту: зав. кафедри Плугін А.А.; зав. ГНДІ корозії і захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць Мірошніченко С.В.; зав. ГНДІ підрейкових основ і спецзалізобетону Калінін О.А.
- склали цей акт в тому, що провели перевірку результатів впровадження науково-дослідних робіт, виконаних кафедрою БМКС УкрДАЗТ у 2010–12 рр. на об'єктах Південної залізниці, наведених в таблиці.

Встановлено, що впровадження виконувалось у складі: обстеження технічного стану будівель, виявлення факторів, що обумовили пошкодження, оцінки їх залишкового ресурсу та прогнозу довговічності за новими методиками, розробки нових конструктивно-технологічних рішень з відновлення експлуатаційних властивостей і захисту при поточному і капітальному ремонті. Означені розробки проводилися згідно Договорам між структурними підрозділами служби БМЕС Південної залізниці і Українською державною академією залізничного транспорту (табл.). Авторами розробок є: Плугін А.А., Палій В.В., Мірошніченко С.В., Трикоз Л.В., Плугін О.А., Борзяк О.С., Забіяка О.А., Конєв О.А., Нестеренко С.Г., Плугін А.М., Калінін О.А., Плугін Д.А., Кас'янов В.В., Партала Н.М.

Реалізація розроблених нових конструктивно-технологічних рішень забезпечує повне відновлення експлуатаційних властивостей означених об'єктів, продовження їх терміну служби. Економічний ефект забезпечується за рахунок менш ма-

теріаломістких і трудомістких конструктивних і технологічних рішень у порівнянні з типовими, що полягають у повній перебудові або перекладенні стін з улаштуванням монолітних залізобетонних поясів, без залучення важкої техніки. Досягнута економія визначена як різниця між орієнтовною вартістю реалізації типових конструктивних і технологічних рішень з фактичними витратами на проведення робіт.

Загальний економічний ефект за період 2010–12 рр. склав 24 712 190 грн. або 8 237 397 грн. на рік.

Таблиця

№	Найменування проведених або запланованих робіт	№ договору	Вартість робіт, грн.		Досягнута або очікувана економія, грн.
			виконаних (запланованих)	за традиційними рішеннями (орієнтовна)	
1	2	3	4	5	6
1	Інженерно-геологічні вишукування на ст. Кислівка Південної залізниці	№86 (6/20-2010) від 22.10.2010	66 050		
2	Обстеження і розробка передпроектних рішень будівлі вокзалу ст. Кислівка Південної залізниці	№84 (60/4-2010) від 22.10.2010	33 062	7 000 000 ¹	5 933 913
	Підсилення фундаментів і кладки стін будівлі вокзалу ст. Кислівка Південної залізниці	Заплановано Куп'янським БМЕУ-4 на 2013	1 000 000		
3	Обстеження і розробка передпроектних рішень будівлі поста ЕЦ ст. Кислівка Південної залізниці	№85 (60/5-2010) від 22.10.2010	34 568	2 500 000 ²	1 932 407
	Підсилення фундаментів і кладки стін будівлі поста ЕЦ ст. Кислівка Південної залізниці	Заплановано Куп'янським БМЕУ-4 на 2013	500 000		
4	Інженерно-геологічні вишукування основи будівлі посту ЕЦ ст.Кагамлицька Південної залізниці	№60/6-2011 від12.08.2011	66 050	15 000 000 ¹	14 387 467
	Обстеження і розробка проектних рішень капітального ремонту будівлі посту ЕЦ ст.Кагамлицька Південної залізниці	№6/16-2011 від12.08.2011	70 445		
	Підсилення кладки стін будівлі посту ЕЦ ст.Кагамлицька Південної залізниці	Виконано Кременчуцьким БМЕУ-7 у 2012	476 038		

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6
5	Інженерно-геологічні вишукування основи службово-технічної будівлі ст.Череднички Південної залізниці	№60/7-2011 від 12.08.2011	33 025	3 000 000 ¹	2 458 403
	Обстеження і розробка проектних рішень капітального ремонту службово-технічної будівлі ст.Череднички Південної залізниці	№6/17-2011 від 12.08.2011	48 004		
	Підсилення кладки стін службово-технічної будівлі ст.Череднички Південної залізниці	Виконано Кременчуцьким БМЕУ-7 у 2012	460 568		
	Всього		2 787 810	27 500 000	24 712 190

1 повна перебудова – знесення існуючої і зведення нової будівлі
2 часткове перекладення стін з улаштуванням залізобетонних поясів



В.В. Конєв



С.В. Мірошніченко



А.А. Плугін



О.А. Калінін