

УДК 699.887.5

**РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ З ЗАХИСТУ ШТУЧНИХ СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ ПІД ДІЄЮ ЗМІННОГО СТРУМУ ВИТОКУ
І ВИСОКОВОЛЬТНОЇ НАПРУГИ**

Кандидати техн. наук О. С. Борзяк, О. А. Дудін, М. Ю. Куценко,
викладач В. Г. Познякова

**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ОТ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ ПОД
ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА УТЕЧКИ И ВИСОКОВОЛЬТНОГО
НАПРЯЖЕНИЯ**

Кандидаты техн. наук О. С. Борзяк, А. А. Дудин, М. Ю. Куценко,
преподаватель В. Г. Познякова

**DEVELOPMENT OF MEASURES FOR THE PROTECTION OF STRUCTURES OF
RAILWAY TRANSPORT AGAINST ELECTROCORROSION UNDER ACTION OF
ALTERNATING CURRENT LEAKAGE AND HIGH-VOLTAGE TENSION**

PhD (Tech.) O. S. Borziak, O. A. Dudin, M. Y. Kutsenko, teacher V. G. Poznyakova

Аналіз літературних, експериментально-теоретичних даних і експлуатаційних досліджень свідчить про суттєвий руйнівний вплив змінного струму витоку та високовольтної напруги на конструкції штучних споруд залізничного транспорту України. Всі існуючі методи захисту від електрокорозії не враховують дійсний механізм корозійного руйнування неметалевих деталей конструкції. Розроблено заходи та конструктивні рішення з захисту бетонних, залізобетонних і кам'яних інженерних споруд залізниць від електрокорозії, що викликана змінною високовольтною напругою і струмами витоку: суцільний сталевий екран із глибинним заземлювачем; сітчасті екрани понизу опор із глибинним заземленням; рідкоскляні екрани з глибинним заземленням. Ефективність наведених заходів обумовлена врахуванням дійсного механізму руйнування сталеві арматури та бетону конструкцій.

Ключові слова: блукальний струм, струм витоку, змінний струм, високовольтна напруга, електрокорозія, штучна споруда, захисний екран.

Анализ литературных, экспериментально-теоретических данных и эксплуатационных исследований свидетельствует о существенном разрушительном воздействии переменного тока утечки и высоковольтного напряжения на конструкции искусственных сооружений железнодорожного транспорта Украины. Все существующие методы защиты от электрокоррозии не учитывают реальный механизм коррозионного разрушения неметаллических деталей конструкции. Разработаны мероприятия и конструктивные решения по защите бетонных, железобетонных и каменных инженерных сооружений железных дорог от электрокоррозии, вызванной переменным высоковольтным напряжением и токами утечки: сплошной стальной экран с глубинным заземлением; сетчатые экраны внизу опор с глубинным заземлением; жидкостекольный экран с

глубинным заземлением. Эффективность разработанных мероприятий обусловлена учетом действительного механизма разрушения стальной арматуры и бетона конструкций.

Ключевые слова: блуждающий ток, ток утечки, переменный ток, высоковольтное напряжение, электрокоррозия, искусственное сооружение, защитный экран.

The destructive effects of the corrosive effects of stray and leakage currents are observed in almost all industries. The question is the most relevant for the railways. It is known that direct (DC) leakage currents and stray currents cause significant corrosion damage. It is supposed that corrosion from alternating current exposure is more moderate and does not cause significant damage. However, the analysis of literature data, data of theoretical, experimental and exploitative research indicates a significant destructive effect of alternating leakage current and high voltage on the structures of railway facilities in Ukraine. At the same time, measures to prevent electrocorrosion of reinforced concrete and other structures by alternating current are not provided for in the regulatory documents for railway structures. One of the reasons for this is the specificity of the processes of electro-corrosion of concrete, reinforced concrete and mortar in flooded structures.

All existed methods of protection against electro-corrosion do not take into account the real mechanism of corrosion destruction of non-metallic parts of the structure. Based on this, it became necessary to develop schemes and constructive solutions for the protection of railway structures against electrocorrosion caused by alternating current, based on the fundamental principles of colloidal chemistry and physico-chemical mechanics.

Developed measures and constructive solutions for the protection of concrete, reinforced concrete and stone engineering structures of railways from electrocorrosion caused by alternating high-voltage and leakage currents: solid steel screen with a deep grounding; mesh screens at the bottom of the supports with deep grounding; liquid glass screen with deep grounding. The effectiveness of the developed measures is caused by taking into account the actual mechanism of destruction of steel reinforcement and concrete structures.

Keywords: stray current, leakage current, alternating current, high-voltage tension, electrocorrosion, artificial constructions, protective screens.

Вступ. Практично у всіх галузях промисловості спостерігаються руйнівні наслідки корозійного впливу блукальних струмів і струмів витоку, що призводять до значних збитків. Найбільш актуальним це питання є для залізниць [1]. Відомо [2], що постійні струми витоку та блукальні струми викликають значні корозійні пошкодження, одночасно вважається [3], що корозія від дії змінного струму більш помірна та не викликає значних пошкоджень.

В Україні електрифіковані ділянки становлять 41,7 % загальної протяжності, з яких 51 % електрифіковано змінним струмом. Частка ділянок залізниць на змінному струмі зростає, тому що він є більш економічним і вважається корозійно

безпечним. Проте аналіз літературних даних [4] і багаторічні спостереження [5-8] вчених Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) свідчать про те, що для багатьох обводнених бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій мостів, тунелів, водопропускних труб, інших споруд на електрифікованих змінним струмом ділянках залізниць, а також інших обводнених конструкцій, що перебувають під впливом високовольтної змінної напруги, зокрема ліній електропередачі (ЛЕП), спостерігається їхня інтенсивна електрокорозія.

Разом з тим заходи щодо запобігання електрокорозії залізобетонних та інших конструкцій змінним струмом у

нормативних документах для залізничних споруд не передбачаються. Однією з причин цього є специфіка процесів електрокорозії бетону, залізобетону та розчину в обводнених конструкціях, що не укладається в рамки традиційної електрофізики й електротехніки, і відсутність у зв'язку з цим єдності думок різних вчених і фахівців щодо впливу змінного струму на залізобетонні, бетонні та кам'яні конструкції.

Виходячи з цього виникла необхідність розроблення схем і конструктивних рішень з захисту споруд залізниць від електрокорозії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Корозія металевих конструкцій від впливу постійного струму витоку досить глибоко та всебічно вивчена. На сьогодні розроблено цілий спектр заходів з захисту металевих конструкцій від впливу блукальних струмів на підприємствах хімічної та кольорової металургійної промисловості [9], а також захисту підземних конструкцій трубопроводів [10]. На залізницях, незалежно від виду струму, на всіх металевих спорудах (мости, шляхопроводи, опори), на яких кріпляться елементи контактної мережі, передбачається заземлення [11]. На залізобетонних опорах і неметалевих штучних спорудах заземляють деталі кріплення контактної мережі або їх обладнують пристроями захисного відключення при потраплянні на споруди і конструкції високої напруги, ці заходи захисту передбачаються для забезпечення безпеки людей.

Для призупинення корозії здійснюють проведення комплексу основних заходів [12]:

1. Ізоляція поверхні металу від навколишнього середовища шляхом нанесення захисних покриттів (пасивний захист). Такий чисто технологічний метод захисту є обов'язковим і ефективним, але недостатнім. Він застосовується в комплексі з активними методами захисту для зниження енерговитрат і підвищення

ефективності основного, активного захисту – електрохімічного.

2. Електрохімічний захист (ЕХЗ) полягає в примусовому зміщенні потенціалу споруди в область захисних значень (близько $(0,9 \div 1,2)$ В відносно мідно-сульфатного електрода порівняння).

Для захисту від електрокорозії залізобетонних конструкцій споруд рейкового транспорту, електрифікованого змінним струмом, передбачають встановлення електроізолювальних деталей і пристроїв, що забезпечують електричний опір не менше 10000 Ом, кола заземлення опор контактної мережі і деталей кріплення контактної мережі до елементів конструкцій мостів, естакад, тунелів і т. п. [11]. У цьому випадку небезпека електрокорозії залізобетонних конструкцій у період експлуатації не встановлюється, оскільки вказаний електричний опір, при якому відсутня небезпека електрокорозії, забезпечується при виконанні вимог, необхідних для нормальної роботи рейкових кіл автоблокування.

Для захисту від наведеної напруги на проводах контактної мережі, а також повітряних і кабельних ліній дроти знеструмлюють і заземлюють з двох сторін заземлювальними штангами, розташовуючи їх одна від одної на відстані не більше 200 м (контактна мережа) і 100 м (інші дроти) [13].

Згідно з роботою [14] захист сталевих трубопроводів від корозії в зонах небезпечного впливу змінного струму повинний здійснюватися захисними покриттями і катодною поляризацією [15-17] незалежно від корозійної агресивності ґрунтів. Катодний захист трубопроводів здійснюється застосуванням зовнішніх джерел постійного струму, зокрема станцій катодного захисту, мінус яких з'єднується з трубою, а плюс – з анодним заземленням (електричний метод).

За роботою [18], для захисту споруд, розташованих у зоні впливу змінних блукальних струмів, використовують також

поляризований дренажний пристрій з додатковим діодом і ємністю в електричній схемі і струмовідводом. У цьому випадку спорудження поляризується постійно, навіть у момент додатних значень потенціалів рейок. Пристрій дозволяє здійснювати захист підземних споруд за рахунок накопичення енергії блукальних струмів за допомогою ємності, ввімкненої на напругу витоку «рейка-споруда» при негативних потенціалах рейок і розряду ємності спорудження при позитивних потенціалах рейок. Більш складним пристроєм з використанням заземлювача, який відрізняється від стандартного заземлення, є пристрій захисту від індукованого високочастотною лінією електропередачі змінного струму (ТУ 3435-005-93719333-2010).

Однак дані методи розроблені для захисту лише металевих деталей конструкцій або для забезпечення безпеки людини. Також всі зазначені методи захисту від електрокорозії, що викликана впливом змінного струму, розроблені за аналогією з методами захисту від електрокорозії від постійного струму та не враховують дійсний механізм корозійного руйнування неметалевих деталей конструкції.

Визначення мети та задачі дослідження. Розроблення заходів із захисту від електрокорозії змінним струмом витоку і високовольтної напруги бетонних, залізобетонних і кам'яних інженерних споруд залізниць на основі фундаментальних положень колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки.

Основна частина дослідження. У роботі [19] досліджено на основі уявлень про електроповерхневі явища в дисперсних системах дійсний механізм електрокорозії бетону залізобетонних конструкцій в умовах впливу змінного струму витоку. Електрокорозійне руйнування розчину й бетону змінним струмом витоку відбувається за рахунок електроміграційного й дифузійного перенесення іонів, що супроводжує вилугування цементного каменю. Так само відбувається

електрокорозійне руйнування сталеві арматури – за рахунок винесення за межі захисного шару бетону катіонів заліза Fe^{2+} , що супроводжується винесенням з арматури вивільнюваних електронів.

Результати цих досліджень надали можливість розробити ефективні заходи та конструктивні рішення для захисту споруд від електрокорозії, що викликана дією змінного струму витоку.

Захист від електрокорозії за допомогою суцільного сталевих екрана з глибинним заземлювачем. Конструкція захисту сталеві прогонової будови від електрокорозії наведена на рис. 1. Захист здійснюється за допомогою заземленого суцільного сталевих екрана та захисту залізобетонної прогонової будови за допомогою антикорозійного захисного покриття.

Відповідно до цієї схеми сталевий лист-екран закріплюється між поверхнею нижнього поясу прогонової будови та контактним дротом і з'єднується з глибинним заземлювачем. Для підвищення корозійної стійкості як екран на поверхні бетону може використовуватися лист гарячого цинкування з заземленням.

Захист конструкцій від електрокорозії за допомогою сітчастих екранів понизу опор із глибинним заземленням. Розроблено конструкцію екрануючих поясів понизу опор із глибинним заземленням. Як екрани можна використовувати сталеві листи, гаряче цинкування, сітчасті екрани.

Сітчасті екрани мають значно меншу вагу, зручні у виготовленні та експлуатації порівняно зі сталевими листовими екранами.

Як екран найбільшу ефективність має мідна сітка, за роботою [20], з чарунками $0,55 \times 0,56$ мм, шириною 1000 мм, діаметром дроту 0,15 мм. Заземлення з'єднується з екраном, екран обмотується навколо опори поверх шару антикорозійного захисного покриття і закріплюється будь-яким способом. Зверху екран укривається другим шаром антикорозійного захисного покриття.

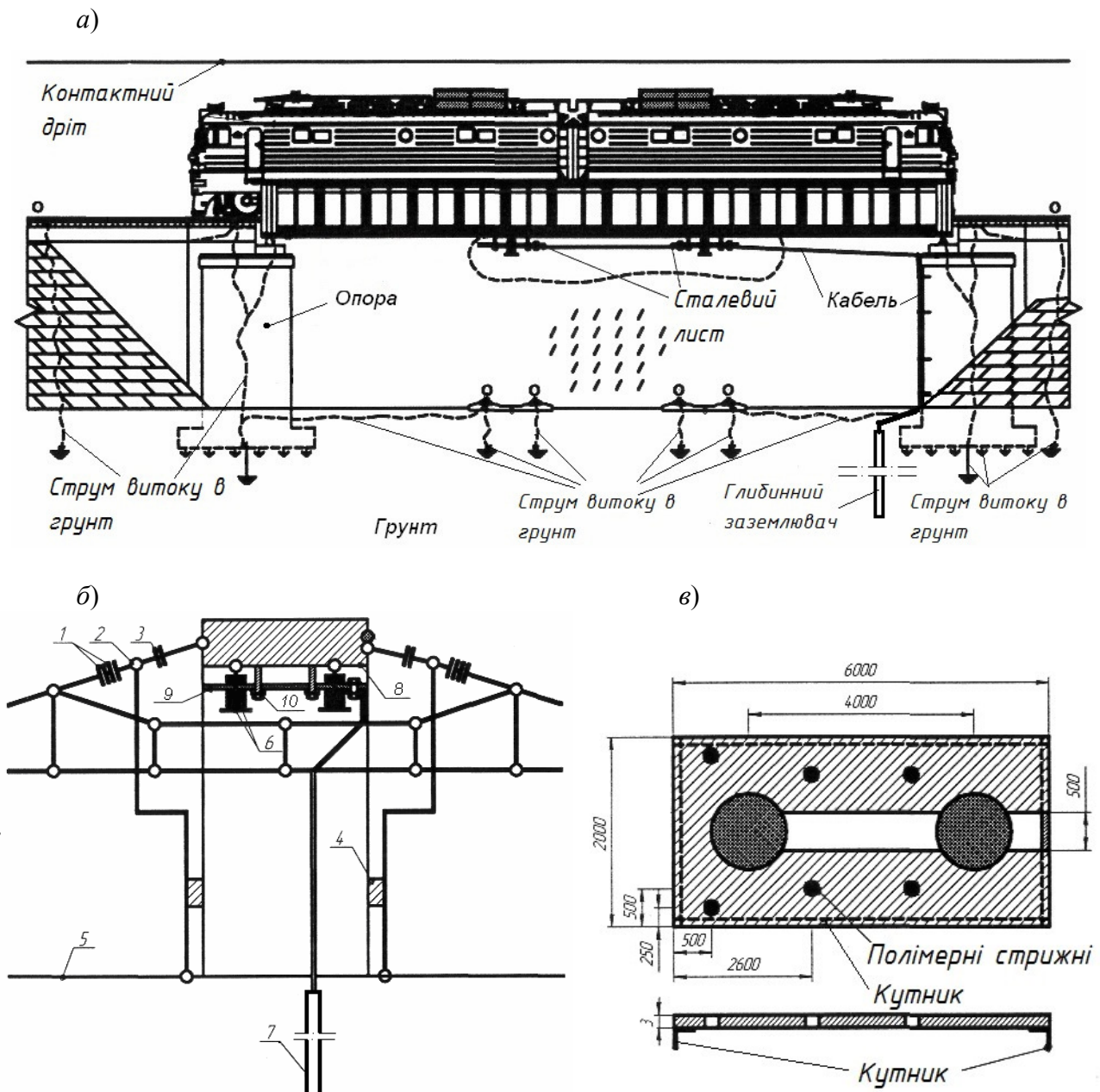


Рис. 1. Конструкція захисного сталевих екрана над контактним дротом із глибинним заземлювачем:

a – загальний вигляд; *б* – схема закріплення екрана і його з’єднання з глибинним заземлювачем; *в* – конструкція сталевих екрана; 1 – ізолятори контактної мережі; 2 – нейтральна вставка; 3 – додаткові ізолятори; 4 – ізолюючі прокладки; 5 – рейки; 6 – відбійники контактної мережі; 7 – глибинний заземлювач; 8 – прогонова будова; 9 – сталевий лист; 10 – полімерні стрижні-анкери

Заземлювач складається з обміднених стрижнів, виготовлених із круглої сталі, покритої електролітичним способом міддю (чистотою 99,9 %) шаром товщиною

0,25 мм. Покриття гарантує високу корозійну стійкість і термін служби стрижня в ґрунті не менш ніж 40 років. Мідне покриття стрижнів має високу

адгезію та пластичність, що дозволяє їх занурювати в ґрунт без порушення цілісності та відшарування мідного шару. Стрижні мають високу міцність. Їх занурюють на глибину до 30 м. Вони виготовляються довжиною 1,2 і 1,5 м; між собою з'єднуються за допомогою латунних різьбових муфт.

Для монтажу обміднених стрижнів використовується електромолоток з типом патрона SDS-Max. Для передачі ударних навантажень від електромолотка, що занурює заземлювач, використовується головка,

що приєднується через муфту до верхнього стрижня. На перший зі стрижнів, що занурюють, навіртається сталевий наконечник.

Захист конструкцій від електрокорозії змінним струмом за допомогою рідкоскляних екранів із глибинним заземленням. Розроблено конструкцію рідкоскляного екрана з глибинним заземленням, що ізолює фундамент опори-стійки шляхопроводу від стикання з бетоном катіонів Ca^{2+} і продуктів електрокорозії, розчинення цементного каменю в бетоні. На рис. 2 надана схема такого екрана.

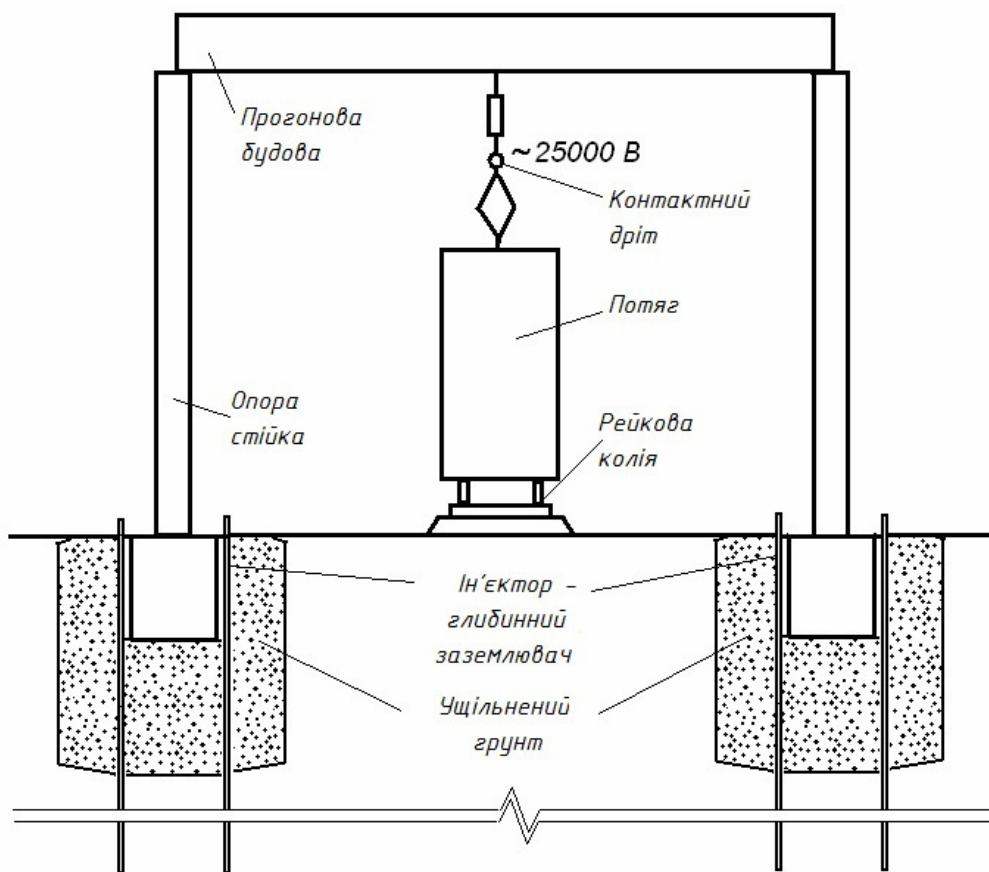


Рис. 2. Захисний рідкоскляний екран від електрокорозії конструкцій шляхопроводу під впливом змінної напруги в контактному дроті

Рідкоскляна композиція, що розроблена в УкрДАЗТ [21, 22], складається зі звичайного рідкого скла, у яке вводиться добавка типу С-3 у кількості 9 %, і використовується в якості отверджувача

кремнефтористоводнева кислота. Вони забезпечують високу проникну здатність (у чотири-п'ять разів вище звичайного рідкого скла), поліпшені гідравлічні властивості,

водостійкість і досить високу міцність композиції.

Для нагнітання використовують ін'єктор (трубу з отворами та глухі ланки). Нагнітання виконуються по периметру фундаменту майже впритул до нього з кроком 2 м. На кінці ін'єктора встановлюється загострений наконечник, а на верхню ланку – наголовник. Всі елементи з'єднуються на різьбі за допомогою з'єднуючих муфт.

Нагнітання виконують за допомогою ручного розчинонасоса індивідуального виготовлення або виробничого виготовлення типу СО-16А. Продуктивність розчинонасоса індивідуального виготовлення вище майже вдвічі, інші технічні характеристики практично такі самі.

Сталева труба-ін'єктор після закінчення нагнітання заглиблюється далі в ґрунт із метою її використання в якості глибинного заземлювача. Добивання здійснюється до рівня ґрунтових вод, якщо вони розташовані недалеко, або залежно від необхідної довжини цього заземлювача.

В умовах, коли починається електрокорозія бетону та винесення з нього під впливом змінного струму витоку катіонів Ca^{2+} і аніонів OH^- , непроникність композиції для струму та води значно підвищиться. Це обумовлено тим, що капіляри в рідкоскляній композиції мають негативний електроповерхневий потенціал,

що забезпечує їхню непроникність для катіонів Ca^{2+} , а при їхньому потраплянні в композицію додатково збільшує міцність, водостійкість і непроникність екрана.

Висновки. Розроблено заходи та конструктивні рішення з захисту бетонних, залізобетонних і кам'яних інженерних споруд залізниць від електрокорозії, що викликана змінною високовольтною напругою і струмами витоку: суцільний сталевий екран із глибинним заземлювачем; сітчасті екрани понизу опор із глибинним заземленням; рідкоскляні екрани із глибинним заземленням. Ефективність запропонованих заходів підтверджується довготривалими експлуатаційними випробуваннями. Розроблені конструктивні рішення використані при капітальному ремонті залізничних об'єктів, що знаходяться в зоні впливу змінних струмів витоку та високовольтної напруги – водопропускних труб, мостів і шляхопроводів. Це призвело до зниження величини струмів витоку на конструкціях – визначального фактора виникнення електрокорозії. Спостереження за об'єктами реконструкції проводилось не менше 10 років, за цей час не виявлено пошкоджень конструкцій за рахунок електрокорозії. Ефективність наведених заходів обумовлена врахуванням дійсного механізму руйнування сталевих арматур та бетону конструкцій.

Список використаних джерел

1. Barlo, Thomas J. Stray Current Corrosion in Electrified Rail Systems – Final Report [Електронний ресурс] / Thomas J. Barlo, Alan D. Zdunek // May, 1995. – Режим доступу : http://www.iti.northwestern.edu/publications/barlo_zdunek/Barlo_and_Zdunek-1995-Stray%20Current%20Corrosion%20in%20Electrified%20Rail%20Systems.pdf.
2. Chen, Zhipei. A review on stray current-induced steel corrosion in infrastructure [Text] / Zhipei Chen, Dessi Koleva, Klaas van Breugel // Corrosion Reviews. – 2017. – Vol. 5(6). – P. 397-423.
3. Bertolini, Luca. Corrosion behaviour of steel in concrete in the presence of stray current [Text] / Luca Bertolini, Maddalena Carsana, Pietro Pedferri // Corrosion Science. – 2007. – Vol. 49(3). – P. 1056-1068.

4. Goidanich, Sara. Influence of alternating current on metals corrosion: Ph.D. Thesis in Materials Engineering [Text] / Sara Goidanich. – Politecnico di Milano, 2002-2005. – 168 p.
5. Теоретические предпосылки защиты бетонных, железобетонных и каменных конструкций от переменных токов утечки [Текст] / 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.
6. Исследование влияния токов утечки и блуждающих токов на здания и сооружения, расположенные возле электрифицированных железнодорожных путей [Текст] / А. Н. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Дудин [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ»: сб. науч. тр. – Харьков, 2009. – Вып. 40 (Тематический выпуск «Химия, технология и экология»). – С. 88–104.
7. Исследование влияния переменного электрического поля в бетоне на его электрокоррозию [Текст] / А. Н. Плугин, А. А. Плугин, А. А. Дудин [и др.] // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2010. – Вип. 43. – С. 517–524.
8. Дудін, О. А. Дослідження руйнівних факторів на будівлі та споруди станційних комплексів залізниць [Текст] / О. А. Дудін, Є. О. Мовчан, О. О. Султанова // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 103. – С. 228–235.
9. Riskin, Joseph. Electrocorrosion and Protection of Metals General. Approach with Particular Consideration to Electrochemical Plants [Text] / Joseph Riskin. – Elsevier Science, 2009. – 264 p.
10. Bohnes, H. Handbook of Cathodic Corrosion Protection [Text] / W. von Baeckmann, H. Bohnes, W. Schwenk and etc. – Gulf Professional Publishing, 1997. – 568 p.
11. ВБН В.2.3-3-2009. Відомчі будівельні норми України. Споруди транспорту. Контактна мережа. Норми проектування [Текст] : затв. та надано чинності М-вом трансп. та зв'язку України від 04.08.2009. Зі скасуванням в Україні ВСН 141-980 / М-во транспорту та зв'язку України, Держадміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця. – К. : Поліграфсервіс, 2009. – 186 с.
12. ЦЭ 518. Инструкция по защите железнодорожных подземных сооружений от коррозии блуждающими токами [Текст] / МПС РФ. – М., 1997. – 57 с.
13. ЦЕ-0019. Вказівки з технічного обслуговування та ремонту опорних конструкцій контактної мережі [Текст] : затв. Наказом Укрзалізниці 15.08.2007. No 405-Ц / Міністерство транспорту та зв'язку України. – К., 2007. – 132 с.
14. ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. Національний стандарт України [Текст] : чинний від 2003.12.01. – К., 2003. – 72 с.
15. Kioupiis, N. Study of the effect of AC-Interference and AC-Mitigation on the Cathodic Protection of a Gas Pipeline [Text] / N. Kioupiis, N. Kouloumbi, G. Batis, P. Asteridis // Conference: 6th CeoCor International Congress. – May, 2003. – 16 p.
16. Ding, Qingmiao. Experimental Study on the Influence of AC Stray Current on the Cathodic Protection of Buried Pipe [Text] / Qingmiao Ding, Yueming Fan // International Journal of Corrosion. – Vol. 2016. – Article ID 5615392. – 8 p.
17. Brelsford, Clay. Mitigating AC Corrosion on Cathodically Protected Pipelines [Text] / Clay Brelsford // Pipeline & Gas Journal. – Oildom Publishing, 2015. – 3p.
18. Далека, В. Х. Електропостачання електричного транспорту [Текст] : навч. посібник / В. Х. Далека, В. К. Нем, В. І. Скуріхін. – Харків: Харківська національна академія міського господарства, 2012. – 169 с.
19. Дудін, О. А. Механізм впливу змінного струму витоку й високовольтної напруги на обводнені бетонні, залізобетонні й кам'яні споруди [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / Олексій Аркадійович Дудін. – Харків : УкрДАЗТ, 2012. – 274 с.

20. ГОСТ 6613-86. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками [Текст] : Технические условия. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2006. – 26 с.

21. Рідкоскляна композиція [Текст] : Пат.87795 UA; МПК C04B28/26 E01C21/00 / А. А. Плугін, А. М. Плугін, О. С. Герасименко, Л. В. Трикоз, С. В. Мірошніченко, О. А. Калінін, Д. А. Плугін, О. А. Дудін, В. А. Лютий, О. А. Плугін. – Заявл. 07.10.2008; № a200811931. – Опубл. 10.08.2009; Бюл. №15. – 3 с.

22. Герасименко, О. С. Увеличение проникающей способности и прочности жидкого стекла [Текст] : дисс... канд. техн. наук: 05.23.05 / Олег Степанович Герасименко. – Харьков : УкрГАЗТ, 2008. – 231 с.

Борзяк Ольга Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. +38(057)7301063. E-mail: borziak.olga@gmail.com.

Дудін Олексій Аркадійович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. +38(057)7301991. E-mail: aadudin@ukr.net.

Куценко Максим Юрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. +38(057)7301991. E-mail: maksimus84@meta.ua.

Познякова Вікторія Георгіївна, викладач спеціальних дисциплін «Політехнічний коледж ДВНЗ «Криворізький національний університет», Тел. +38(096)6284418. E-mail: pkknu@ukr.net.

Борзяк Ольга Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. +38 (057) 7301063. E-mail: borziak.olga@gmail.com.

Дудин Алексей Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры пути и путевого хозяйства Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. +38 (057) 7301991. E-mail: aadudin@ukr.net.

Куценко Максим Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры станций и узлов Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел. +38 (057) 7301991. E-mail: maksimus84@meta.ua.

Позняков Виктория Георгиевна, преподаватель специальных дисциплин «Политехнический колледж ГВУЗ «Криворожский национальный университет». Тел. +38 (096) 6284418. E-mail: pkknu@ukr.net.

Borziak Olga S., PhD (Tech.), associate professor, Department of Building Materials and Structures, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph. +38(057)7301063. E-mail: borziak.olga@gmail.com.

Dudin Oleksii A., PhD (Tech.), associate professor, Department of Track and Track Facilities, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph. (+38057)7301991. E-mail: aadudin@ukr.net.

Kutsenko Maksym Y., PhD (Tech.), associate professor, Department of Railway stations and Junctions, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph. +38(057)7301991. E-mail: maksimus84@meta.ua.

Poznyakova Victoria G., teacher special disciplines «Polytechnic College State Higher Educational Institution «Kryvyi Rih National University». Ph. +38(096)6284418. E-mail: pkknu@ukr.net.

Статтю прийнято 12.12.2018 р.