

КОМУНАЛНЕ ГОСПОДАРСТВО МІСТ

ISSN (print) 2522-1809
ISSN (online) 2522-1817

3(184)'2024

Л.В. Бондар, Н.М. Попович, В.В. Шульгін, С.В. Яхін

Полтавський державний аграрний університет, Україна

ВИКОРИСТАННЯ В БУДІВЛЯХ І СПОРУДАХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО (КАТОДНОГО) ЗАХИСТУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Узагальнено перший вітчизняний досвід з проєктування та впровадження електрохімічного (катодного) захисту від корозії арматури залізобетонних конструкцій, що зазнають дії агресивних середовищ. Розглянуто приклади такого захисту для конструкцій низки будівель та споруд з різними умовами їх експлуатації. У наведених прикладах розкрито схеми конструктивних рішень катодного захисту та деякі технічні характеристики.

Ключові слова: арматура залізобетонних конструкцій, корозія, катодний захист.

Постановка проблеми

Використання залізобетонних конструкцій в будівлях і спорудах з агресивним середовищем призвело до того, що збільшилися випадки уражень конструкцій унаслідок виникнення та розвитку в них корозії арматури [1].

Складаються умови, коли традиційні методи захисту вже не дозволяють вирішити окреслену проблему. Катодний захист залізобетонних конструкцій значно розширює методи захисту залізобетонних конструкцій. Суть електрохімічного (катодного) захисту ґрунтується на тому, що корозійні процеси на металі арматури визначаються поляризацією, яка виникає при проходженні струму в ланцюзі мікроелемента як біля анода, так і у поверхні катода. Причому головне значення має катодна поляризація – зсув потенціалу катода у від’ємному напрямку – що призводить до зменшення різниці потенціалів мікроелементів. До переваг цього методу слід віднести його універсальність і простоту [2, 3]. Захист катодною поляризацією може бути використаний як на нових конструкціях, так і на конструкціях із кородованою арматурою, піддається простому регулюванню та контролю, дозволяє зупинити корозію арматури незалежно від причин, що її викликає, та ін. [4, 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Достатнє розповсюдження катодний захист арматури залізобетонних конструкцій отримав у закордонній практиці [6, 7]. Успішно застосовують такий захист при боротьбі з корозією арматури залізобетонних конструкцій мостів у зв’язку зі зростанням масштабів використання солей проти ожеледиці, при перемінному зволоженні конструкції, при експлуатації конструкції в агресивних середовищах [8–10].

У закордонній практиці все більше використовується катодний захист арматури залізобетонних

конструкцій у спорудах хімічної промисловості, в багатоярусних паркінгах, а також при боротьбі з блукаючими струмами, для захисту арматури в карбонізованому бетоні [11, 12].

На жаль, у вітчизняній практиці цей метод захисту знайшов обмежене використання (в основному лише для конструкцій у ґрунті або у воді). Основною причиною такого стану є відсутність теоретичних і практичних опрацювань цього питання для вітчизняних умов будівництва і експлуатації залізобетонних конструкцій.

Мета статті

Метою дослідження є показати можливості використання електрохімічного (катодного) захисту у вітчизняних умовах експлуатації та за конструктивних рішень будівель і споруд із залізобетону.

Виклад основного матеріалу

Вперше у вітчизняній практиці електрохімічний (катодний) захист від корозії арматури бетонних колон був випробуваний в прядильному цеху ВО «Хімволокно» в Черкасах. Арматура залізобетонних конструкцій у нижній частині колон була піддана корозійному впливу через часті проливи агресивних розчинів з прядильних машин на підлогу.

Для збирання та видалення цих проливів у підлозі передбачені каналізаційні лотки, розташовані недалеко від колон, які потребують захисту, паралельно їх поперечним рядам. Ці лотки були використані для розміщення лінійних анодів катодного захисту. Аноди, виготовлені з окремих металевих стрижнів, були вкладені на дно лотків і покриті електропровідним розчином. Мінусовий полюс джерела живлення був приєднаний до арматурного каркаса ряду колон, а плюсовий полюс – до анодів в лотках. В анодну гілку було включено блок регулювання з шістьма резисторами (за кількістю рядів колон).

Як джерело живлення було використано стандартний регульований випрямляч із вихідною напругою постійного струму 12 В. Вже через добу після вмикання катодного захисту при загальній напрузі на випрямлячі 9 В і струму 0,07 А потенціал на арматурі зменшився у середньому на 13 % [2].

Після визначення анодних ділянок на залізобетонних балках перекриття хімічного цеху Черкаської фабрики гіршати (сьогодні ТОВ «Ватфарм») було розроблено проєкт катодного захисту арматури балок [13].

Залізобетонні балки при проведенні ремонтних робіт були покриті полімерними фарбами, але це не призвело до спаду корозійних процесів на їх арматурі на окремих ділянках. З огляду на вихідні умови була прийнята схема електрохімічного захисту при вибірковому розподілі анодів із металеві фольги на електропровідній фарбі на поверхні балок.

Захист розрахований від одного джерела живлення на середні значення електрохімічних параметрів: питомий опір бетону – 4000 Ом·м, катодна поляризація арматури в бетоні, покритому фарбою, – 40 Ом·м², а стаціонарний потенціал арматури дорівнює –0,4 В за мідно-сульфатним електродом порівняння.

По арматурі балок була повна електропровідність, тому від'ємний дріт від джерела живлення був приєднаний до арматури в ближній до джерела точці. Аноди були з'єднані паралельно ізольованим мідним дротом.

Попередні обстеження цеху концентрованої сірчаної кислоти в Сумському ПО «Хімпром» (зараз ПАТ «Суміхіпром») показали, що корозія арматури в залізобетонних конструкціях протікає під дією розчинів проливів кислот та їх пару. Корозія активізується на окремих ділянках конструкцій. У колонах такі місця знаходяться на нижніх ділянках, де спостерігається контакт конструкцій з середовищем (проливами).

У запропонованій системі катодного захисту було використано регульоване джерело струму, яке дозволяло отримати постійний струм до 10 А. На відновлювальну нижню частину колон було нанесено обмазку із електропровідного розчину товщиною 1–2 см, у яку було втоплено аноди зі свинцю [14].

Після перевірки відсутності короткого замикання між анодом і армокаркасом колон, повної електропровідності по арматурі систему було підключено до джерела живлення, від'ємний затискач котрого під'єднували до арматури, позитивний – до анода.

У період пробного вмикання електрозахисту його ефективність визначалась за результатами замірів потенціалів на арматурі в межах корозійно небезпечної зони (низ колон). Як захисний було прийнято потенціал на арматурі – 850 мВ відносно мідно-сульфатного електрода порівняння.

Основною метою пробного включення захисту було отримання параметрів, підтримка яких в стаціонарних умовах забезпечить захисну дію на небезпечних ділянках колон.

Після години роботи захисту при навантаженні 12 В і струму 3,5 А за рахунок поляризації арматури було призупинено процес корозії арматури на небезпечних ділянках.

Актуальним є електрохімічний (катодний) захист арматури залізобетонних мостових настилів, які піддаються впливу хлоридів. Дорожнє покриття звожується нерівномірно. Розподіл вологи, яка часто насичена хлоридами, на окремих ділянках змінюється за часом. Це вимагає необхідність використання анодів, які б забезпечували можливість катодної поляризації арматури на будь-якій ділянці настилу. Виконання такої умови можливо у разі використання анода, рівномірно розміщеного на поверхні настилу в дорожньому покритті [15].

Настил мосту являє собою складну конструкцію, яка складається з окремих шарів: гідроізоляційного, підстильного, поверхневого покриття. Очевидно, що аноди доцільно розташувати між периферійними шарами. Як відомо, у вітчизняних конструкціях настилів мостів гідроізоляційний шар підсилюється укладанням металевих сіток. Тож в покриттях настилів з підсилювальними сітками в принципі анод мається [5].

Як показує практика, подовження струмопровідності по арматурі настилів забезпечується при будівництві мостів. Достатньо у цьому разі приєднати джерело постійного струму від'ємним полюсом до арматури, а позитивним – до сітки. Безумовно, можливість практичного використання такої сітки як розподіленого анода потребує деякої перевірки.

Цей підхід був реалізований в проєктних пропозиціях систем катодного захисту арматури настилу мостів при реконструкції шляхопроводу на автомобільному шляху Полтава – Олександрія та при реконструкції монолітної плити шляхопроводу на ділянці дороги Полтава – Ромодан [16].

Ще один варіант електрохімічного (катодного) захисту від корозії арматури апробовано в залізобетонному настилі мосту. Виробничо-технічним підприємством «Магістраль» на основі завдання Полтавського облавтодору було розроблено робочий проєкт на катодний захист залізобетонного настилу мосту в процесі його реконструкції на автомобільному шляху Решетилівка – Нові Санжари – Нехвороща. Будівельну споруду побудовано за типовим проєктом 5-04-145 «Залізобетонні плитні мости на пальових опорах прольотами 3 і 6 м». Міст зазнав значних пошкоджень, насамперед унаслідок корозії арматури залізобетонного настилу. Цьому сприяла низька якість збірних конструкцій, відсутність своєчасних ремонтів, дія сольових реагентів проти ожеледиці. Проєкт реконструкції передбачав влаштування додаткового верхнього настилу і захисту від корозії арматури залізобетонних конструкцій.

Проліт будови нижнього (старого) настилу складався із семи залізобетонних плит довжиною 6 м

і шириною 2,4 м. Пролітна будова верхнього (нового) настилу складалася зі збірних залізобетонних накладних ребристих плит довжиною 6,8 м і шириною 2,4 м із виступними консолями, які укладаються перпендикулярно поздовжній осі мосту. Опір палі із збірного залізобетону перерізом 300×450 мм. Верхні накладні плити об'єднані з нижніми плитами настилу шпонковими з'єднаннями із жорсткою арматурою і анкерними з'єднаннями. Між накладними плитами передбачено монолітні шви шириною 400 мм.

В умовах, що склалися, виявилися більш вигідними активні методи захисту залізобетонних конструкцій. Конструктивне рішення мосту сприяє використанню електрохімічного захисту.

У захисному шарі бетону проїжджої частини передбачено зміцнювальні металеві сітки, котрі було використано як аноди. Уся арматура залізобетонних конструкцій об'єднана у єдиний електричний ланцюг. Накладні та наявні плити через анкери мають електричний зв'язок. Крім того, арматура накладних плит замкнута в єдину систему через металеві каркаси монолітних ділянок в поздовжніх і поперечних рядах.

Отже, для накладних плит як аноди для захисту арматури використано розподільчі сітки, які для зменшення перехідного електричного опору і кращого розподілу захисного потенціалу розташовувалися в шарі покриття товщиною 3–5 см із коксового дріб'язку (83 %) і асфальту (17 %). Для наявних нижніх плит як аноди передбачалось використовувати фарби (55 % сажі та 45 % лакофарбового матеріалу), які є гарним електропровідником.

Від'ємний дріт від джерела живлення приєднувався до арматури найближчої плити. Само джерело передбачено на ближній електроопорі.

Згідно з розрахунком катодний захист арматури забезпечувався від джерела постійного струму 122 Вт і напругою на клеммах 7,8 В.

Мета наступного проекту – покращення технологічних властивостей влаштування електрохімічного захисту робочої арматури залізобетонних плит. Завдання, яке вирішує влаштування, – це зниження трудовитрат і матеріаломісткості систем захисту.

Поставлене завдання вирішується тим, що шов між плитами вивільнюється від заповнювальних матеріалів, а в утворену щілину укладається гнучка електроізоляційна стрічка, яка має посередині поздовжню перфоровану поверхню у вигляді наскрізних отворів.

При укладанні стрічки надають U-подібну форму в перерізі, створивши корито в щілині між плитами, що має перфороване днище. У створене корито вкладається дротяний анод з наступним заповненням шва дрібнозернистим бетоном чи цементним розчином. Поздовжня робоча арматура ребер плит приєднується до від'ємного полюса джерела струму, а анод – до позитивного полюса, наприклад, припаюванням.

Таке влаштування не вимагає створення спеці-

альних каналів, пропилів, жолобів; аноди можуть бути встановлені по довжині будівлі і фіксуються самою конструкцією швів між поздовжніми ребрами плит. Стрічки ізолюють аноди від контакту з боковими поверхнями швів між плитами, забезпечуючи замикання електричного ланцюга через робочу поздовжню арматуру, яка підлягає захисту. Перфорована поверхня середини стрічки, яка знаходиться під анодом, сприяє отриманню розсіяного захисного електрополя при захисті робочої арматури. Крім того, укладання анодів у шви захищає їх від зовнішнього середовища.

На рис. 1 показаний фрагмент поздовжнього шва між ребристими плитами з влаштуванням для електрохімічного захисту робочої арматури в поздовжніх ребрах плит.

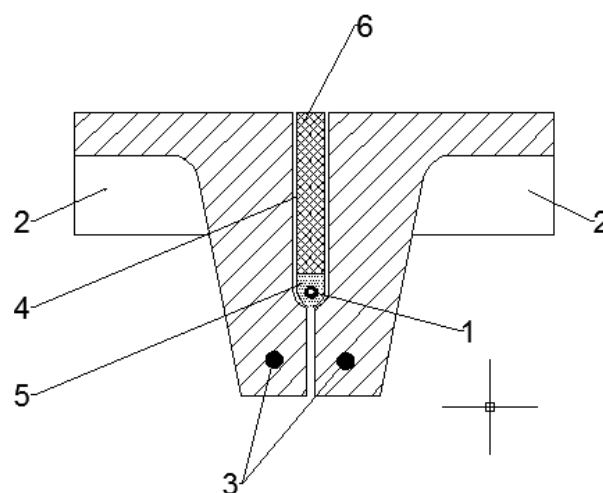


Рис. 1. Фрагмент поздовжнього шва між ребристими плитами з влаштуванням для електрохімічного захисту робочої арматури в поздовжніх ребрах плит:

- 1 – дротяний анод; 2 – залізобетонна плита;
- 3 – робоча арматура; 4 – ізоляційна стрічка;
- 5 – шов, заповнений струмопровідним розчином;
- 6 – шов, заповнений звичайним цементним розчином

Влаштування складається із лінійного дротяного анода 1, що вкладається в поздовжній шов між залізобетонними плитами 2 і робочою арматурою 3, ізоляційної стрічки 4, заповнення швів струмопровідним розчином 5 та заповнення шва звичайним цементним розчином 6.

Арматура 3 приєднується до від'ємного полюса джерела струму, а анод 1 – до позитивного полюса.

Влаштування працює так. При замиканні електричного ланцюга «анод – робоча арматура» на арматурі досягається щільність електричного струму, при якому корозійні процеси на арматурі припиняються.

Влаштування має наступні переваги: простота виконання захисту, можливість заміни елементів в процесі експлуатації [17].

У процесі аналізу конструктивних елементів із

залізобетону, умов їх експлуатації з'являється можливість використання найбільш простого електрохімічного захисту арматури – протекторного.

Для захисту від локальної корозії каркасів залізобетонних виробів пропонується влаштування, основним елементом якого є гальванічний анод – металева пластинка, що з'єднується з арматурою залізобетонного виробу електропровідником [2]. Метал пластинки має більш високий електрохімічний потенціал, наприклад, цинк, ніж метал арматури.

Сам елемент може бути захищений покриттям від впливу зовнішнього середовища, а для зменшення перехідного опору між ним і бетонною поверхнею розташований активатор.

Запропоноване влаштування відрізняється простотою виконання, можливістю відтворення в процесі експлуатації.

Універсальністю відрізняється гальванічний анод, який є одночасно підсилювальним елементом для розтягнутої зони залізобетонних балок [8]. Підсилювальний елемент виконується у вигляді металевої стрічки, метал якої має власний електрохімічний потенціал, вищий за власний електрохімічний потенціал металу арматури. Ця металева стрічка укладається на струмопровідний розчин та з'єднується з арматурним каркасом балки.

Зважаючи на те, що ефективність катодного захисту залежить від розподілу захисного потенціалу, розроблено методику розрахунку електрополя в бетоні як в поперечному, так і в поздовжньому перерізах конструкції із залізобетону.

Подальше вдосконалення систем катодного захисту арматури надземних залізобетонних конструкцій повинно будуватися на накопиченні практичного досвіду його використання.

Висновки

Розглянуті в прикладах системи катодного захисту вказують на можливості їх створення та використання для вітчизняних залізобетонних конструкцій на базі вітчизняних приладів і матеріалів. Електрохімічний (катодний) захист арматури залізобетонних конструкцій може бути суттєвим доповненням до традиційних методів захисту. Подальше удосконалення систем катодного захисту залізобетонних конструкцій повинне базуватись на накопиченні досвіду їх експлуатації, створенні універсальних систем.

Література

1. Виробництво залізобетонних конструкцій і виробів : довід. / Н. О. Амеліна, В. П. Азутів, О. Ю. Бердник, О. Г. Гелевера, В. М. Кошарьов, О. Ю. Ковальчук, О. П. Константиновський, О. В. Ластівка, А. А. Майстренко, В. В. Павлюк, П. П. Пальчик, С. М. Петрикова, Л. М. Рижанкова, Р. Ф. Рунова, Н. В. Розозіна ; за заг. ред. В. І. Гоца. – Київ : Основа, 2019. – 464 с.
2. Чехов А. П. Захист будівельних конструкцій від корозії / А. П. Чехов, В. М. Глуценко. – Київ : Вища школа, 1994. – 213 с.
3. Технічна електрохімія : підручник. У 5 ч. Ч. V. Сучасні хімічні джерела струму, електроліз розплавів, електросинтез хімічних речовин / Б. І. Байрачний, Г. Г. Тульський, В. В. Штефан, І. А. Токарева. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – 272 с.
4. Bondar V. Reinforcement Corrosion Characteristics with Periodical Profile / V. Bondar, L. Bondar, O. Petrash // *International Journal of Engineering & Technology*. – 2018. – Vol. 7, No. 3.2. – P. 575–579. – DOI: [10.14419/ijet.v7i3.2.14592](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14592).
5. Довговічність залізобетонних конструкцій є основою життєвого циклу мостових споруд / А. В. Більченко, О. Г. Кіслов, О. В. Синьковська, А. В. Ігнатенко // *Науковий вісник будівництва*. – 2018. – Т. 94, № 4. – С. 140–144. – Режим доступу: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/528/522>, вільний (дата звернення: 10.05.2024).
6. Mitigation of Corrosion Problems in API 5L Steel Pipeline – A Review / F. O. Kolawole, S. K. Kolawole, J. O. Agunsoye, J. A. Adebisi, S. A. Bello, S. B. Hassan // *Journal of Materials and Environmental Science*. – 2018. – Vol. 9, Is. 8. – P. 2397–2410. – Regime of access: http://www.ijmaterenvirosci.com/Document/vol9/vol9_N8/264-JMES-2611-Kolawole.pdf, free (date of the application: 10.05.2024).
7. Wells T. Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers / T. Wells, R. E. Melchers, P. Bond // *Corrosion and Prevention 2009 : Proceedings of the 49th Annual Conference of the Australasian Corrosion Association 2009, Coffs Harbour (Australia), November 15–19, 2009 yr.* – Victoria (Australia) : Australasian Corrosion Association (ACA), 2009. – Paper 054. – Regime of access: <https://nova.newcastle.edu.au/vital/access/services/Download/uon:9061/ATTACHMENT01>, free (date of the application: 10.05.2024).
8. Колоїдна хімія та фізико-хімічна механіка як основа виробництва ресурсозберігаючих мінеральних в'язучих речовин та високоефективних композиційних матеріалів на їх основі / А. А. Плуґін, А. М. Плуґін, О. С. Кагановський, О. В. Градобоев // *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. – 2013. – Вип. 138. – С. 7–19. – DOI: [10.18664/1994-7852.138.2013.102065](https://doi.org/10.18664/1994-7852.138.2013.102065).
9. Polder R. B. Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures in The Netherlands — Experience and Developments / R. B. Polder // *Corrosion of Reinforcement in Concrete (EFC 25) — Monitoring, Prevention and Rehabilitation* / ed. by J. Mietz, B. Elsener, R. Polder. – London (UK) : CRC Press, 2020. – Ch. 15. – P. 172–183. – DOI: [10.1201/9781003076957-15](https://doi.org/10.1201/9781003076957-15).
10. Замінення арматурних сталей при виготовленні згинальних залізобетонних елементів прямокутного перерізу за невизначених статистичних характеристиках вихідних матеріалів / В. О. Бондар, Л. В. Бондар, Н. М. Попович, Л. В. Василенко // *Науковий вісник будівництва*. – 2019. – Т. 2, № 2(96). – С. 203–208. – Режим доступу: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/331/343>, вільний (дата звернення: 10.05.2024).
11. Nadzri N. I. M. A Review of Cathodic Protection in Repairing Reinforced Concrete Structures / N. I. M. Nadzri, N. M. Amin // *Journal of Mechanical Engineering*. – 2019. – Vol. 16, No. 2. – P. 183–198. – DOI: [10.24191/jmeche.v16i2.15336](https://doi.org/10.24191/jmeche.v16i2.15336).
12. Combined Impressed Current Cathodic Protection and FRM Strengthening for Corrosion-Prone Concrete Structures / M.-N. Su, L. Wei, J.-H. Zhu, T. Ueda, G.-P. Guo, F. Xing // *Journal of Composites for Construction*. – 2019. – Vol. 23, No. 4. – Article 04019021. – DOI: [10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000949](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000949).
13. Спосіб електрохімічного захисту від корозії арматури залізобетонних ребристих плит : пат. 133697 Україна, МПК (2019.01) C23F 13/00, E04C 5/00 / В. О. Бондар, Л. В. Бондар, Л. В. Василенко, Н. М. Попович (Україна) ; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – № u201808339 ; заявл. 30.07.18 ; опубл. 25.04.19, Бюл. № 8. – Режим доступу: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1350738/>, вільний (дата звернення: 10.05.2024).
14. Bondar V. Non-destructive corrosion determination methods for concrete structures reinforcement (Неруйнуючі методи

визначення корозії арматури залізобетонних конструкцій) / V. Bondar, L. Bondar, N. Popovich // *Innovative Approaches to Ensuring the Quality of Education, Scientific Research and Technological Processes* : monograph / ed. by M. Gawron-Lapuszek, Ya. Suchukova. – Katowice (Poland) : Publishing House of University of Technology, 2021. – P. 56–65. – (Series of monographs – Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts, Katowice School of Technology. Monograph 43). – Regime of access: <http://www.wydawnictwo.wst.pl/uploads/files/3ae54f97de8a1480cfb229660e616f25.pdf#page=56>, free (date of the application: 10.05.2024).

15. Сучасні методи захисту арматури залізобетонних конструкцій від корозії / В. А. Гуркаленко, К. В. Латорець, В. П. Сопов, Л. О. Перишина, О. В. Макаренко // *Науковий вісник будівництва*. – 2021. – Т. 104, № 2. – С. 233–240. – Режим доступу: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/110/108>, вільний (дата звернення: 10.05.2024).

16. Бондар Л. В. Використання конструктивних рішень будівель і споруд, умов експлуатації при влаштуванні електрохімічного захисту арматури залізобетонних конструкцій / Л. В. Бондар, В. О. Бондар, Н. М. Попович // *Science, Engineering and Technologies: Current Issues and Research : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Prague (Czech Republic), March 12–13, 2021 yr. – Prague (Czech Republic) : Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2021. – P. 187–190. – DOI: [10.30525/978-9934-26-046-9-45](https://doi.org/10.30525/978-9934-26-046-9-45).*

17. Улаштування та розрахунок системи електрохімічного захисту від корозії арматури залізобетонних перекриттів із збірних ребристих плит / В. О. Бондар, Л. В. Бондар, А. О. Горшеніна, А. В. Гвоздь // *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. – 2016. – Вип. 2 (47). – С. 117–124. – Режим доступу: <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PolNTU/1716/1/Бондар.pdf>, вільний (дата звернення: 10.05.2024).

References

- Amelina, N. O., Azutov, V. P., Berdnyk, O. Yu., Helevera, O. H., Koksharov, V. M., Kovalchuk, O. Yu., Konstantynovskiy, O. P., Lastivka, O. V., Maistrenko, A. A., Pavliuk, V. V., Palchuk, P. P., Petrykova, Ye. M., Ryzhankova, L. M., Runova, R. F., & Rohozina, N. V. (2019). *Production of reinforced concrete structures and products: guide* (V. I. Hots, Ed.). Osnova [in Ukrainian]
- Chekhov, A. P., & Hlushchenko, V. M. (1994). *Protection of building structures from corrosion*. Vyshcha Shkola [in Ukrainian]
- Bairachnyi, B. I., Tulskeyi, H. H., Shtefan, V. V., & Tokarieva, I. A. (2016). *Technical electrochemistry: textbook. Pt. V. Modern chemical sources of current, electrolysis of melts, electrosynthesis of chemicals*. NTU “KhPI” [in Ukrainian]
- Bondar, V., Bondar, L., & Petrush, O. (2018). Reinforcement Corrosion Characteristics with Periodical Profile. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.2), 575–579. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14592>
- Bilchenko, A. V., Kislov, O. H., Synkovska, O. V., & Ihnatenko, A. V. (2018). Durability of reinforced concrete structures is the basis of the life cycle of bridge structures. *Scientific Bulletin of Construction*, 94(4), 140–144. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/528/522> [in Ukrainian]
- Kolawole, F. O., Kolawole, S. K., Agunsoye, J. O., Adebisi, J. A., Bello, S. A., & Hassan, S. B. (2018). Mitigation of Corrosion Problems in API 5L Steel Pipeline – A Review. *Journal of Materials and Environmental Science*, 9(8), 2397–2410. http://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol9/vol9_N8/264-JMES-2611-Kolawole.pdf
- Wells, T., Melchers, R. E., & Bond, P. (2009). Factors Involved in the Long Term Corrosion of Concrete Sewers. In *Proceedings of the 49th Annual Conference of the Australasian Corrosion Association 2009 ‘Corrosion and Prevention 2009’* (Paper 054). Australasian Corrosion Association (ACA).

<https://nova.newcastle.edu.au/vital/access/services/Download/uon:9061/ATTACHMENT01>

- Pluhin, A. A., Pluhin, A. M., Kahanovskiy, O. S., & Hradoboiev, O. V. (2013). Colloidal chemistry and physical and chemical mechanics as the basis for the production of resource mineral binders and high-performance composite materials based on them. *Collection of Scientific Works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport*, (138), 7–19. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.138.2013.102065> [in Ukrainian]
- Polder, R. B. (2020). Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures in The Netherlands — Experience and Developments. In J. Mietz, B. Elsener, & R. Polder (Eds.), *Corrosion of Reinforcement in Concrete (EFC 25) — Monitoring, Prevention and Rehabilitation* (ch. 15, pp. 172–183). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003076957-15>
- Bondar, V., Bondar, L., Popovych, N., & Vasylenko, L. (2019). Replacement of armature steels while manufacturing flexible reinforced concrete elements of rectangular section at uncertain statistical characteristics of output materials. *Scientific Bulletin of Construction*, 2(296), 203–208. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/331/343> [in Ukrainian]
- Nadzri, N. I. M., & Amin, N. M. (2019). A Review of Cathodic Protection in Repairing Reinforced Concrete Structures. *Journal of Mechanical Engineering*, 16(2), 183–198. <https://doi.org/10.24191/jmeche.v16i2.15336>
- Su, M.-N., Wei, L., Zhu, J.-H., Ueda, T., Guo, G.-P., & Xing, F. (2019). Combined Impressed Current Cathodic Protection and FRM Strengthening for Corrosion-Prone Concrete Structures. *Journal of Composites for Construction*, 23(4), 04019021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000949](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000949)
- Bondar, V. O., Bondar, L. V., Vasylenko, L. V., & Popovych, N. M. (2019). *Method of electrochemical protection against corrosion of reinforcement of reinforced concrete ribbed slabs* (Ukraine Patent No. 133697). Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine, State Enterprise “Ukrainian Institute of Intellectual Property”. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1350738/> [in Ukrainian]
- Bondar, V., Bondar, L., & Popovich, N. (2021). Non-destructive corrosion determination methods for concrete structures reinforcement. In M. Gawron-Lapuszek, & Ya. Suchukova (Eds.), *Innovative Approaches to Ensuring the Quality of Education, Scientific Research and Technological Processes: monograph* (pp. 56–65). Publishing House of University of Technology. <http://www.wydawnictwo.wst.pl/uploads/files/3ae54f97de8a1480cfb229660e616f25.pdf#page=56> [in Ukrainian]
- Hurkalenko, V. A., Latorets, K. V., Sopov, V. P., Pershyna, L. O., & Makarenko, O. V. (2021). Modern protecting methods of reinforced concrete structures from corrosion. *Scientific Bulletin of Construction*, 104(2), 233–240. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/110/108> [in Ukrainian]
- Bondar, L. V., Bondar, V. O., & Popovych, N. M. (2021). Use of constructive solutions for buildings and structures, operating conditions when installing electrochemical protection of reinforcement of reinforced concrete structures. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference ‘Science, Engineering and Technologies: Current Issues and Research’* (pp. 187–190). Publishing House “Baltija Publishing”. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-046-9-45> [in Ukrainian]
- Bondar, V. O., Bondar, L. V., Horshenina, A. O., & Hvozdz, A. V. (2016). Design and calculation of electrochemical protection of reinforcement corrosion for prefabricated reinforced concrete overlap consisting of ribbed plates. *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2(47), 117–124. <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PolNTU/1716/1/Бондар.pdf> [in Ukrainian]

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Б. Ковальчук, Полтавський державний аграрний університет, Україна.

Автор: БОНДАР Людмила Вікторівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
будівництва та професійної освіти
Полтавський державний аграрний університет
E-mail – liudmyla.bondar@pdau.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1595-7740>

Автор: ШУЛЬГІН Володимир Васильович
кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри
будівництва та професійної освіти
Полтавський державний аграрний університет
E-mail – volodymyr.shulhin@pdau.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2573-8402>

Автор: ПОПОВИЧ Наталія Миколаївна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
будівництва та професійної освіти
Полтавський державний аграрний університет
E-mail – nataliia.popovych@pdau.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6450-6332>

Автор: ЯХІН Сергій Валерійович
кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри
будівництва та професійної освіти
Полтавський державний аграрний університет
E-mail – sergii.iakhin@pdau.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0042-0844>

USE OF ELECTROCHEMICAL (CATHODIC) PROTECTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

L. Bondar, N. Popovych, V. Shulhin, S. Yakhin

Poltava State Agrarian University, Ukraine

The article summarises the first domestic experience in designing and implementing electrochemical (cathodic) protection against corrosion of reinforcement in reinforced concrete structures exposed to aggressive environments. It considers examples of such protection for structures of many buildings and constructions with different operation conditions.

The study examines the first instance in the domestic practice of testing electrochemical (cathodic) protection against reinforcement corrosion in concrete columns. The reinforcement of reinforced concrete structures in the lower part of the columns underwent corrosion due to frequent spills of aggressive solutions from the floor. There were drainage trays on the floor located near the columns that need protection, parallel to their transverse rows, to collect and remove these spills. These trays served to house linear anodes of cathodic protection. Anodes made of individual metal rods were placed on the bottom of the trays and covered with an electrically conductive solution.

After determining the anodic areas on the reinforced concrete floor beams, they developed a project for cathodic reinforcement protection. Coating the reinforced concrete beams with polymer paints during the repair works did not lead to a decline in corrosion processes on their fittings in some areas. Given the initial conditions, the decision was to adopt an electrochemical protection scheme with selective distribution of metal foil anodes on conductive paint on the surface of the beams.

The conducted examination of the concentrated sulfuric acid shop showed that reinforcement corrosion in reinforced concrete structures occurs under the action of solutions of acid spills and their steam. Corrosion intensifies in some parts of structures. In the columns, such places appear in the lower sections, where the structures are in contact with the environment (spills). In the proposed cathodic protection system, a regulated current source allowed for obtaining a constant current of up to 10 A. A 1–2 cm thick layer of electrically conductive solution was applied to the lower part of the columns under restoration. Lead anodes were embedded into the conductive solution.

A working project was developed for cathodic protection of the reinforced concrete deck of the bridge in its reconstruction on the highway. The bridge suffered significant damage primarily due to corrosion in the reinforced concrete deck. In the existing conditions, active methods of protecting reinforced concrete structures have proven more profitable. The structural solution of the bridge facilitates the use of electrochemical protection. The concrete protective layer of the roadway includes reinforcing metal grids that serve as anodes. All reinforcement of reinforced concrete structures is a part of a single electrical circuit.

The research goal is to improve the technological properties of the reinforcement electrochemical protection installation in reinforced concrete slabs. The installation solves the task of reducing labour costs and material consumption of protection systems. A solution to this task is freeing the seam between the plates from filling materials and laying a flexible electrical insulating tape in the formed gap, which has a longitudinal perforated surface in the form of a reach-through in the middle. When laying, the tape receives a U-shaped cross-section, creating a trough in the gap between the plates that has a perforated bottom. A wire anode fits into the created trough.

The proposed device is easy to implement and replace elements during operation. The galvanic anode, which simultaneously serves as a reinforcing element of the stretched zone in reinforced concrete beams, is characterised by its versatility. The reinforcing element is made in the shape of a tape, while the metal has a higher electrochemical potential than the reinforcing metal. This metal tape is placed on the conductive solution and connected to the reinforcing frame of the beam.

Further improvement of the cathodic protection systems of the reinforced concrete structures needs to draw on the accumulated practical experience of its application.

Keywords: reinforcement of reinforced concrete structures, corrosion, cathodic protection.