



УДК : 621.317:669.14

CORROSION PROTECTION OF POWER LINE AND BRIDGE SUPPORTS**ЗАХИСТ ВІД КОРОЗІЇ ОПОР ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ТА МОСТІВ****Melentiev Oleg / Мелентьев О.Б.***PhD, associate professor / канд. пед. наук, доцент**ORCID: 0000-0002-3249-2973**Uman National University, Uman, Sadova 32 B, kv 4, 20398**Уманський національний університет, Умань, Садова 32 Б, кв. 4, 20398*

Анотація. У статті розглянуто проблему корозійного руйнування металевих опор ліній електропередач та мостових конструкцій, що є однією з основних причин зниження їх експлуатаційної надійності. Проаналізовано основні механізми корозії, класифіковано сучасні методи антикорозійного захисту та наведено порівняльну оцінку їх ефективності залежно від умов експлуатації. Показано доцільність застосування комплексних (дуплексних) систем захисту для підвищення довговічності інфраструктурних об'єктів.

Захист від корозії опор ЛЕП та мостів досягається створенням пристрою для захисту від корозії опор ліній електропередачі та мостів, що дозволяє позбавитись іржі на металоконструкціях шляхом створення умов, при яких на метал опори, мостів та інших металоконструкцій із вмістом заліза постійно впливають водневомісткі іони й іони водню.

Ключові слова: корозія, антикорозійний захист, опори ЛЕП, мости, оцинкування, катодний захист.

Вступ

Надійність та довговічність об'єктів енергетичної і транспортної інфраструктури значною мірою визначається стійкістю металевих конструкцій до корозійного руйнування. Опори ліній електропередач та мостові споруди експлуатуються в умовах постійного впливу атмосферних факторів, агресивних газів, вологи та солей, що зумовлює інтенсивний розвиток корозійних процесів.

Тому подальше наше дослідження буде торкатись аналізу сучасних методів захисту від корозії опор ЛЕП та мостів і визначення найбільш ефективних рішень з урахуванням умов експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Корозія – це фізико-хімічний процес поступового руйнування металу під впливом зовнішнього середовища (атмосферні агенти, волога, електролітичні середовища). Зокрема для сталевих опор ЛЕП та мостових конструкцій агресивними чинниками є волога, солі, промислові гази та температурні коливання. Ці фактори прискорюють корозійний процес і можуть призвести до втрати несучої здатності елементів споруд.



Основні види корозії металевих опор ЛЕП та мостів наведені в таблиці 2.

Захист від корозії в інженерній практиці є головним чинником, що визначає довговічність та надійність конструкцій, зокрема в енергетиці та транспортному будівництві.

Питання корозії та методів її запобігання детально розглянуті в роботах вітчизняних і зарубіжних дослідників. Значну увагу приділено гарячому цинкуванню сталевих конструкцій, застосуванню органічних покриттів та катодного захисту. У працях [1–3] показано ефективність дуплексних систем, а в дослідженнях [4–6] проаналізовано вплив експлуатаційних факторів на швидкість корозії. Основні види корозії металевих опор ЛЕП та мостів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні види корозії металевих опор ЛЕП та мостів.

Вид корозії	Умови виникнення	Характерні зони у конструкціях
Атмосферна	Вологе повітря, опади, промислові гази	Надземні частини опор, ферм мостів
Електрохімічна	Наявність електроліту (волога, ґрунт)	Фундаменти опор, стики елементів
Щілинна	Застій вологи у щілинах	Болтові з'єднання, нахлести
Контактна (гальванічна)	Контакт різнорідних металів	Місця кріплення, закладні деталі
Підплівкова	Порушення цілісності покриття	Під лакофарбовими шарами

Разом з тим, питання комплексного підходу до захисту опор ЛЕП і мостів потребують подальшого узагальнення.

Мета дослідження – підвищення довговічності металевих опор ЛЕП та мостових конструкцій шляхом обґрунтування ефективних методів антикорозійного захисту, що досягається створенням пристрою для захисту від корозії опор ліній електропередачі та мостів із вмістом заліза на які постійно впливають водневомісткі іони й іони водню, де пристрій сприяє використанню електроліту як середовища, що оточує опору, молекули води і молекули слабого розчину вугільної кислоти



Основні завдання:

- аналіз механізмів корозії сталевих конструкцій;
- порівняння методів захисту;
- визначення оптимальних систем для різних умов експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження

Найбільш поширеною є атмосферна та електрохімічна корозія, що виникає внаслідок взаємодії металу з вологою та киснем. У зонах стиків і болтових з'єднань часто спостерігається щілинна та контактна корозія, яка призводить до локальних ушкоджень.

Найефективнішими методами захисту є:

- гаряче цинкування;
- лакофарбові та полімерні покриття;
- катодний захист;
- застосування корозійностійких сталей;
- конструктивні заходи.

Особливої уваги заслуговують дуплексні системи, які поєднують цинкове покриття з органічними шарами та забезпечують синергетичний ефект захисту.

Також існує альтернативний спосіб захисту сталевих конструкцій, який базується на електрохімічних реакціях, що реалізується засобами спеціальних пристроїв та приладів.

Порівняльна характеристика методів антикорозійного захисту представлена у таблиці 2.

Для оцінки та визначення швидкості корозії застосовуються певні методи та способи. Для кількісної оцінки корозійних втрат використовується співвідношення:

$$v = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad (1)$$

де:

- v — швидкість корозії, $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{рік}$;
- Δm — втрата маси металу, г ;
- S — площа поверхні, м^2 ;



– t — час експозиції, років.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика методів антикорозійного захисту.

Метод захисту	Термін служби, років	Переваги	Недоліки
Гаряче цинкування	30–60	Висока довговічність, катодний захист	Висока температура процесу
Лакофарбові покриття	10–25	Простота ремонту, декоративність	Потребує регулярного оновлення
Дуплексна система (цинк + фарба)	50–80	Максимальний захист	Вища вартість
Катодний захист	25–50	Ефективний у агресивних середовищах	Складність експлуатації
Корозійностійкі сталі	40–70	Мінімальне обслуговування	Висока вартість матеріалу

Захист мостових конструкцій та ЛЕП мають певні особливості. Так мости зазнають підвищеного корозійного навантаження через використання протижеледних реагентів. У таких умовах доцільним є застосування багат шарових систем із високою адгезією та регулярний моніторинг стану покриттів. Рекомендовані системи захисту залежно від умов експлуатації наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Рекомендовані системи захисту залежно від умов експлуатації.

Умови експлуатації	Рекомендований метод
Сільська місцевість	Гаряче цинкування
Промислова зона	Дуплексна система
Прибережна зона	Цинкування + поліуретанове покриття
Підземна частина опор	Катодний захист + ізоляційне покриття
Мости з інтенсивним рухом	Багат шарові системи з високою адгезією



Розглянемо більш детально захист конструкцій ЛЕП електрохімічним способом.

Під впливом вологи повітря, кисню й вуглекислого газу залізо іржавіє, тобто зовнішня поверхня виробів покривається іржею. Хімічна формула іржі:



Іржа є крихкою й пористою структурою. Утворюючись на поверхні, вона не може захистити внутрішні шари металоконструкцій. Проникаючи усе глибше й глибше, іржа руйнує залізо й перетворює його зрештою в суцільну іржу рудого кольору. За деяким даними від іржі руйнується до 10% виробленого заліза.

Вище ми аналізували способи захисту виробів від іржі. Основний спосіб захисту полягає в покритті виробу олійною фарбою, що не допускає зіткнення виробу з вологою, киснем і вуглекислим газом.

Фарбування опор ліній електропередачі не є дієвим засобом для захисту їх від іржі, оскільки полягає в періодичному фарбуванні опор, що сприяє високій трудомісткості, великій собівартості робіт, а також у зв'язку з необхідністю строго виконувати правила техніки безпеки, практично нездійсненна.

Таким чином, металеві опори ліній електропередачі залишаються незахищеними із самого моменту введення. Іржа з кожним роком проникає все більше й більше в глиб металу, зменшуючи механічну міцність опор, і стає причиною їх передчасного руйнування.

В процесі досліджень нами був зроблений винахід, який полягає в тому, щоб не допустити іржавіння опор ліній електропередачі, мостів та інших металоконструкцій із вмістом заліза й запобігти подальшого руйнування вже іржавих конструкцій [7].

Поставлена мета досягається шляхом створення умов, при яких на метал опори, мостів та інших металоконструкцій із вмістом заліза постійно впливають водневомісткі іони й іони водню.

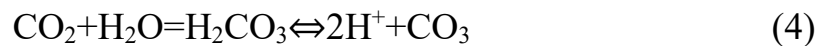
Ці умови забезпечує пристрій для захисту від корозії опор ліній електропередачі та мостів, який складається із: опори 1, алюмінієвого прутка 2, джерела постійного струму 3, сонячної батареї 4 (див. малюнок 3.).



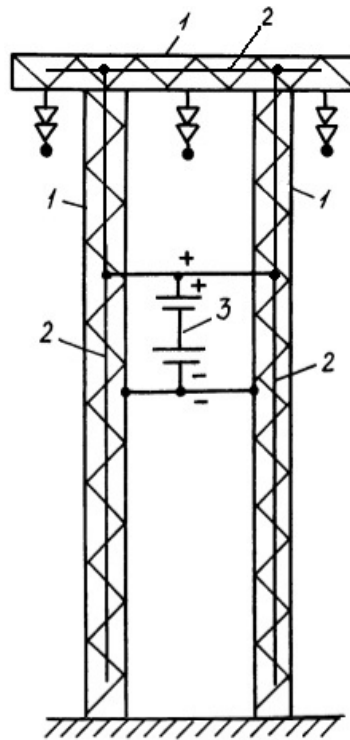
У цьому пристрої передбачається використання електроліту як середовища, що оточує опору, молекули води і молекули слабкої розчину вугільної кислоти. Ці молекули розпадаються на іони по формулі:



Таких іонів кожного знака навіть у дуже чистій воді міститься приблизно $6 \cdot 10^{12}$ од./см³. Формула виглядає так:



У дисоційованому середовищі опора 1 є одним з електродів, а в якості другого електрода використовується алюмінієвий пруток 2, що прокладається у внутрішньому просторі стійок і траверси (див. малюнок 1.).



Малюнок 1.

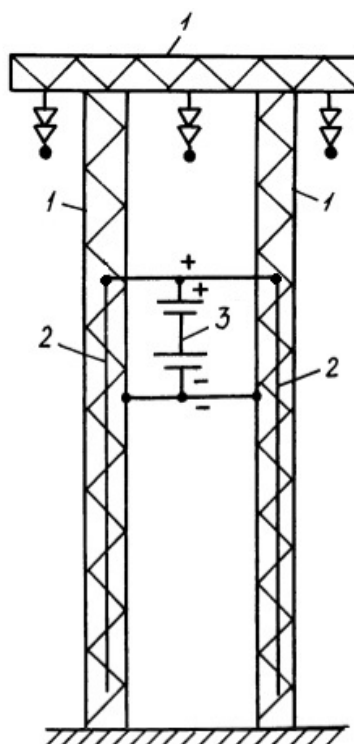
На опорах діючих ліній електропередачі алюмінієвий пруток може прокладатися тільки на частину висоти стійок, виходячи з умови дотримання правил техніки безпеки (малюнок. 2.).

При підключенні мінуса джерела постійного струму до опори 1 з усіма елементами, які до неї відносяться і є катодом, а плюса до алюмінієвого прутка, між ними виникає електричне поле, у якому на кожний іон діє сила f , рівна



добутку напруженості поля E , у точці розташування іона, на його заряд $n \cdot e$:

$$f = E \cdot n \cdot e, \quad (5)$$



Малюнок 2.

Пристрій для захисту від корозії опор ліній електропередачі та мостів працює наступним чином.

Позитивні іони H_3O^+ і 2H^+ під дією сили з боку поля йдуть до катода. Стикаючись із металом опори 1, захоплюють із катода електрони і стають молекулами, які беруть участь у хімічній реакції виду:



Негативні іони OH^- і CO_3^- проходять до аноду, віддають йому електрони і перетворюючись у молекули, беруть участь у наступній хімічній реакції:



Хімічного впливу 2O на алюмінієвий пруток 2 не відбувається, тому що він покритий тонкою плівкою окисла Al_2O_3 , який охороняє його від подальшого окиснення.

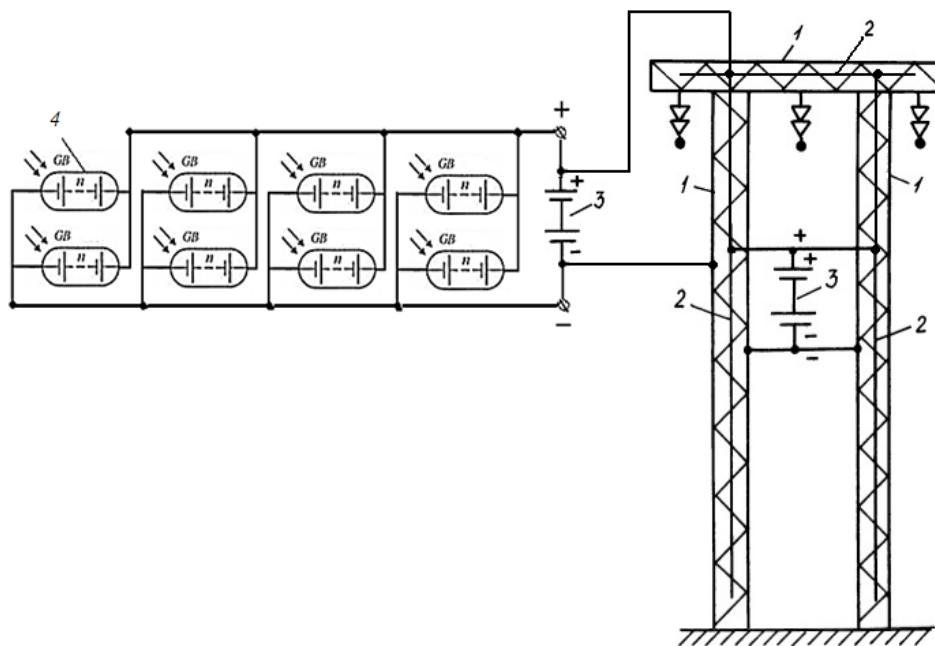
На металевій опорі 1 ідуть одночасно два процеси – процес відновлення



заліза із оксиду з руйнуванням іржі, й процес окиснення заліза із утворюванням іржі. Якщо перший процес переважає над другим, то іржа, що нагромаджується, зрештою зникає. Якщо процеси врівноважені, то іржавіння припиняється. Якщо ж другий процес переважає над першим, то іржавіння опори вповільнюється.

Процес відновлення заліза з оксиду (іржі) регулюється напругою й потужністю джерела постійного струму 3.

У цей час робота пристрою для захисту від корозії опор ліній електропередачі та мостів в режимі, що задається, може бути забезпечена сонячними батареями 4, що встановлюються на кожній опорі (див. малюнок. 3.). Застосування сонячних батарей 4, забезпечує тривалу роботу пристрою, без профілактичних робіт по заміні акумуляторів, оскільки процес їх підзарядження відбувається автоматично.



Малюнок 3.

Пристрій для захисту від корозії опор ліній електропередачі та мостів дозволяє позбавитись іржі на металоконструкціях, які містять залізо, позбавитись від трудомісткого процесу зачистки та фарбування металоконструкцій, продовжити строк їх експлуатації до ремонту.

Порівняльний аналіз показав, що термін служби оцинкованих конструкцій у поєднанні з лакофарбовими покриттями може перевищувати 50 років [7].



Висновки

Корозія є одним із ключових факторів деградації опор ЛЕП та мостів, аналіз зясував, що найбільш ефективним є комплексний підхід до захисту металевих конструкцій, що забезпечують дуплексні системи які підвищують довговічність в умовах агресивного середовища, тому раціональний вибір методу захисту дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати.

Пристрій для захисту від корозії опор ліній електропередачі та мостів дозволяє позбавитись іржі на металоконструкціях, які містять залізо, позбавитись від трудомісткого процесу зачистки та фарбування у систематизації сучасних методів захисту від корозії для опор ЛЕП та мостових конструкцій з урахуванням умов експлуатації та довговічності захисних систем.

Результати роботи можуть бути використані:

- при проектуванні та реконструкції ЛЕП;
- у мостобудуванні;
- при виборі антикорозійного захисту для інфраструктурних об'єктів;
- у навчальному процесі для студентів технічних спеціальностей.

Подальші наші дослідження будуть направлені на удосконалення пристрою для захисту від корозії опор ліній електропередач та мостів на основі їх повної автономності та довговічності, що дозволить підвищити ефективність позбавлення від іржі металоконструкцій.

Література:

1. Fontana, M.G. (2017) *Corrosion engineering*. 3rd edn. New York: McGraw-Hill Education.
2. Revie, R.W. and Uhlig, H.H. (2019) *Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering*. 4th edn. Hoboken, NJ: Wiley. Available at: <https://www.wiley.com> (Accessed: 23 January 2026).
3. International Organization for Standardization (ISO) (2009) *ISO 1461:2009 Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles*. Geneva: ISO. Available at: <https://www.iso.org/standard/35447.html> (Accessed: 23 January 2026).



4. Мелехов, Р.К. and Похмурський, В.І. (2003) *Конструкційні матеріали енергетичного обладнання. Властивості, деградація*. Київ: Наукова думка.

5. Federal Highway Administration (2020) *Steel bridge coating systems*. Washington, DC: FHWA. Available at: <https://www.fhwa.dot.gov> (Accessed: 23 January 2026).

6. Захист від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж (2003) *Матеріали науково-практичної конференції (Донецьк, 9–12 червня 2003 р.)*. Донецьк: УАМК.

7. Мелентьєв, О.Б., Краснобокий, Ю.М., Терещук, С.І., Годованюк, Т.Л., Махомета, Т.М. and Тягай, І.М. (2024) *Пристрій для захисту від корозії опор ліній електропередачі та мостів*. Патент України UA 157804, МПК C23F13/02. Available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1828659/> (Accessed: 23 January 2026).

Abstract. *The article addresses the problem of corrosion damage to metal supports of power transmission lines and bridge structures, which is one of the main causes of reduced operational reliability. The main corrosion mechanisms are analyzed, modern methods of anti-corrosion protection are classified, and a comparative assessment of their effectiveness depending on operating conditions is provided. The feasibility of using comprehensive (duplex) protection systems to increase the durability of infrastructure objects is demonstrated.*

Corrosion protection of power line and bridge supports is achieved by creating a device for protecting metal supports of power transmission lines and bridges, which allows the removal of rust from metal structures by creating conditions in which hydrogen-containing ions and hydrogen ions continuously act on the metal of supports, bridges, and other iron-containing metal structures.

Keywords: *corrosion, anti-corrosion protection, power line supports, bridges, galvanization, cathodic protection.*

Статтю надіслано: 22.01.2026 р.

© Мелентьєв О.Б.