

УДК 691.32:624.21

Канд. техн. наук Д.А. Плуґін

РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ КОНСТРУКЦІЙ ШЛЯХОПРОВІДІВ, НА ЯКИХ ЗАКРІПЛЕНА КОНТАКТНА МЕРЕЖА

Представив д-р техн. наук, професор А.А. Плуґін

Вступ. Однією з проблем експлуатації шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа постійного струму, особливо в умовах підвищеної вологості (з обводненим баластовим коритом, пошкодженим асфальтобетонним покриттям), є електрокорозія арматури, закладних деталей, бетону, їх конструкцій. Ця проблема виникла і стала поглиблюватись в останні десятиріччя після накопичення достатнього досвіду експлуатації таких шляхопроводів. У зв'язку з поширенням електрифікації залізниць та збільшенням віку споруд вона буде розповсюджуватися, негативно впливаючи на безпеку руху, завдаючи значних збитків і вимагаючи заміни конструкцій набагато раніше встановлених термінів експлуатації.

Попередніми дослідженнями встановлено, що висока електрична напруга в контактній мережі створює електричне поле, яке передається через повітря на поверхню конструкцій, наводить у ній електричний струм і спричиняє електрокорозійні пошкодження, особливо в умовах підвищеної вологості.

Застосовувані способи ізоляції контактної мережі – ізолятори, нейтральні вставки, не передбачають захист від такого

поля і наведеного струму. Тому розроблення конструктивних засобів захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа, є дуже актуальним завданням.

Одними з можливих заходів можуть бути захисні екрани, що відводять наведені струми через діодне заземлення, захисні покриття, що уповільнюють електрокорозію, запобігаючи винесенню її продуктів. Впровадження таких конструкцій та інших заходів дозволить знизити експлуатаційні витрати на утримання шляхопроводів, підвищити безпеку руху.

Аналітичний огляд літературних джерел про розповсюдження електростатичного поля в повітряному середовищі і попаданні його на конструкції. Згідно з роботою в просторі навколо лінії електропередачі присутні заряджені частинки повітря і, відповідно, об'ємний заряд і статичні електричні поля (лінії), що має важливе значення при розгляді впливу повітряних ліній постійного струму на навколишнє середовище.

З урахуванням цього в наш час при аналізі впливу ППС (передача постійного

струму) надвисокої напруги найбільшу увагу приділяють визначенню розподілу іонного струму і напруженості електричного поля. Робота таких ліній супроводжується безперервним спрямованим рухом іонів від коронуючого проводу (тиха корона) лінії: рух під дією поля проводу з протилежною полярністю, рух під дією вітру і рух до поверхні землі. При уніполярній ППС полярність іонів співпадає з полярністю коронуючого

проводу, при біполярній ППС іони кожної полярності генеруються в районі відповідного полюса лінії (рис. 1). У просторі між кожним полюсом і землею розташовуються іони зі знаком, що відповідає полярності полюса. У зоні між полюсами присутні іони обох полярностей, що призводить до рекомбінації іонів. Таким чином, вплив повітряної лінії постійного струму на навколишнє середовище багатогранніше, ніж ПЛ змінного струму.

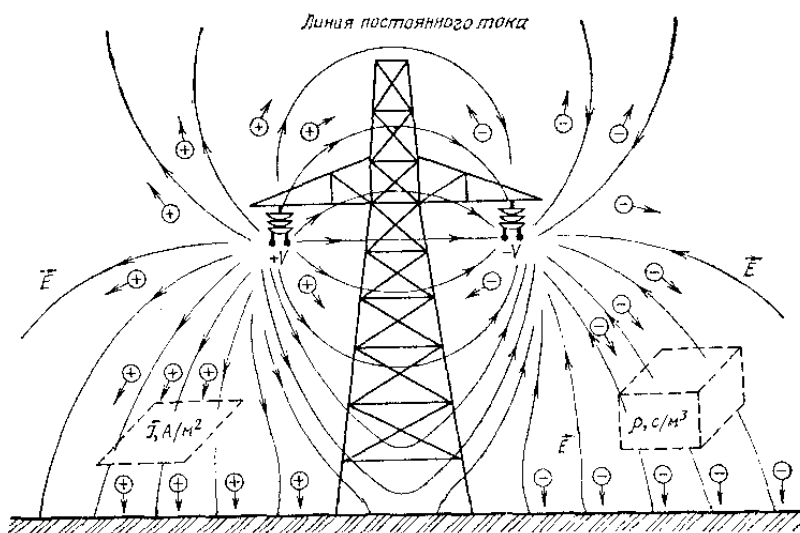


Рис. 1. Діаграма впливу ППС на навколишнє середовище

Вплив на навколишнє середовище (і конструкції) можна поділити на три складові, що характеризуються:

- щільністю струму потоку іонів J ;
- щільністю об'ємного заряду іонів ρ ;
- електричним полем від проводу

$E_{пров}$ і об'ємного заряду іонів $E_{ион}$.

З урахуванням схеми на рис. 1 поширення електричного поля, зображуваного силовими лініями, від проводів контактної мережі буде мати такий вигляд, як на рис. 2.

Струм потоку іонів, тобто щільність струму J , визначається значенням і спрямованістю вектора напруженості E в даній точці. Для біполярної ППС

$$\vec{I} = \vec{I}_+ = \vec{K}_+ \rho_+ \vec{E},$$

де ρ^+ , ρ^- - об'ємні заряди, що генеруються короною ППС;

\vec{K}_+ - рухомість іонів біля полюсів передачі.

На напруженість впливають, з одного боку, значення прикладеного до них потенціалу і, з іншого боку, всі заряди, розподілені в просторі, які сильно залежать від стану навколишнього середовища (сили вітру, вологості, запиленості, температури).

При дощі іонізація більш істотна, оскільки краплі сильно збільшують нерівності на проводі, здатні викликати кистьові розряди.

Про реальність провідності зони між контактним проводом і поруч розташованою конструкцією свідчать дані вимірювань, проведених американськими вченими. Вони показали, що в області напруженості електричного поля 40 кВ/м

цей струм складає $0,003 \div 0,004$ мА. Слід очікувати, що струм іонного потоку від контактного проводу з напругою 3 кВ перевищить цю величину, оскільки відстань від контактного проводу до конструкції значно менше, ніж від проводів ЛЕП до землі.

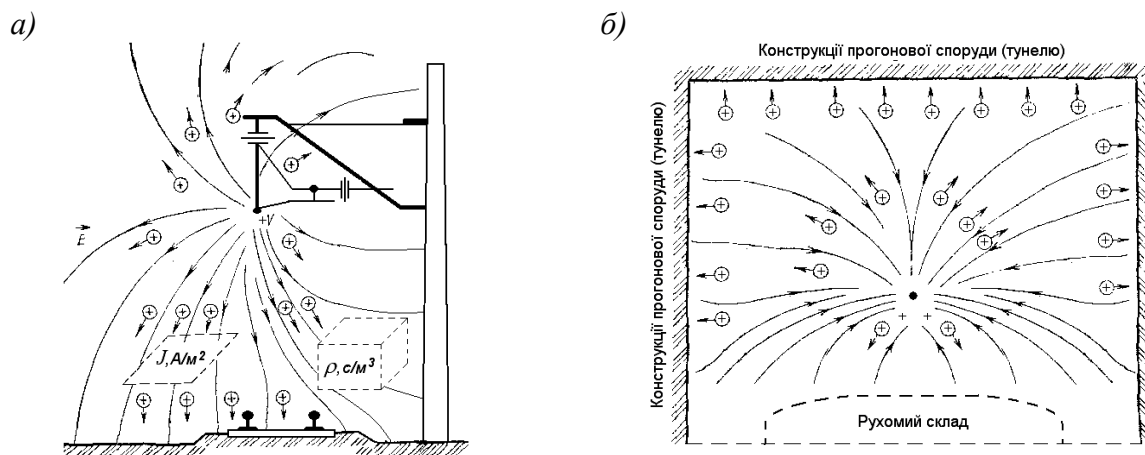


Рис. 2. Схема розповсюдження електростатичного поля від проводів контактної мережі: а – від контактних проводів на опорі; б – від контактного проводу, підвішеного на конструкціях прогонової будови (тунелю)

Викладене підтверджує, що від контактних проводів з постійною напругою близько 3000 В поширюється через повітря електростатичне поле, яке індукує поле в конструкціях і призводить врешті-решт до електрокорозії металів і бетону.

Теоретичні передумови проектування екрануючого захисту від електростатичного поля. Поширення електростатичного поля через повітря і екрануючий пристрій можна проаналізувати та пояснити за допомогою ліній поля і явищ індукції [2]. Нехай електричний заряд q , наприклад позитивний, поміщений всередину замкнутої металевої ємності (рис. 3, а). На поверхні комірки, зверненої до заряду q , індукується заряд протилежного знака. Індукований заряд $-q$ повинен чисельно дорівнювати заряду q , що індукується, оскільки всі лінії поля, що починаються на заряді q , закінчуються на внутрішній

поверхні комірки у зв'язку з тим, що лінії поля не проходять через провідник.

На зовнішній поверхні металевої комірки, частиною якої є і стержень електроскопа з листками, виникає позитивний індукований заряд, величина якого дорівнює негативному, індукованому на внутрішній поверхні, і, отже, дорівнює внесеному заряду q . Якщо внесений заряд q поєднати з внутрішньою поверхнею порожнини, на якій індуковано заряд $-q$, то ці два заряди, рівні за величиною і протилежні за знаком, взаємно нейтралізуються і заряд залишиться тільки на зовнішній поверхні комірки (рис. 3, б).

Таким чином, при введенні заряду всередину металевої порожнини він повністю передається комірці.

Слід також враховувати, що електростатичне поле поширюється від точкового заряду концентрично (рис. 4), убуваючи з відстанню. Тому при потраплянні поля на поверхню

екрануючого пристрою (екрана) або на незахищену конструкцію силові лінії максимальні по нормалі до джерела поля і послаблюються в місцях, віддалених від

нормалі. Це відповідає характеру розподілу ушкоджень на металевих і залізобетонних конструкціях.

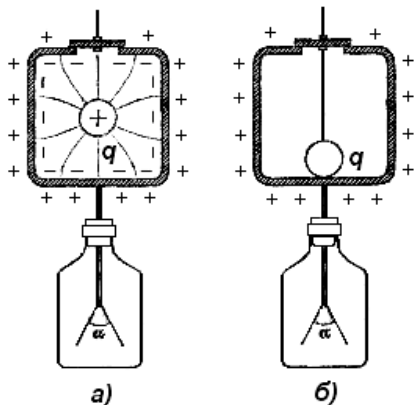


Рис. 3. Явище індукції в замкнутій порожнині:
 а – на внутрішній поверхні індукується заряд $-q$, на зовнішній поверхні – заряд q ;
 б – заряд q і заряд $-q$, індукований на внутрішній поверхні, нейтралізовані; на зовнішній поверхні залишився заряд q

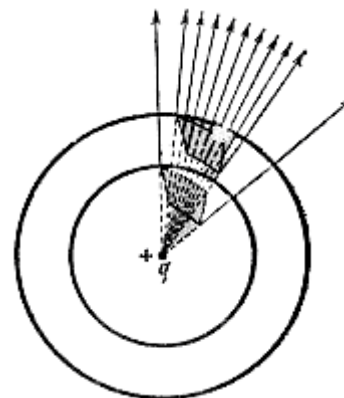


Рис. 4. Лінії поля навколо позитивного точкового заряду q . На кожній з них показано одиничний майданчик

Якби комірка з внесеним зарядом q була замкнута неповністю (рис. 5, а), то частина ліній поля від заряду q вийшла б через отвір комірки і закінчилася на інших тілах. Отже, індукований заряд на внутрішній поверхні комірки- q буде за абсолютною величиною (модулем) менше q .

Таким чином, металеві екрануючі пристрої повинні повністю усунути попадання електростатичного поля та струму на конструкції, що захищаються ними.

Відповідно до існуючих уявлень про повітряне середовище і схем на рис. 2 в повітряному просторі між контактним проводом і заземленою конструкцією знаходяться аероіони (катіони і аніони) незначної концентрації, що зумовлюють протікання нехай і незначної величини струму в колі контактний провід-конструкція-земля.

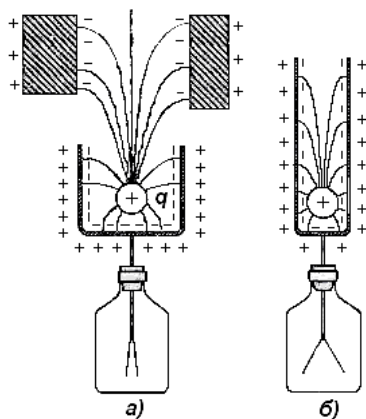


Рис. 5. Явище індукції в незамкненій порожнині:
 а – частина ліній поля від заряду q не потрапляє на внутрішню поверхню, $|-q'| < q$; на зовнішній поверхні виникає заряд q ; б – порожнина комірки дуже глибока і вузька, так що на внутрішній поверхні її індукується заряд $-q$, а на зовнішній – заряд q

Крім того, висока напруженість електростатичного поля в просвіті між контактним проводом і конструкцією призводить до іонізації молекул повітря і додаткового збільшення аероіонів. У зв'язку з цим поряд із індукованим потенціалом на поверхні конструкції через неї буде також проходити активний струм.

Між контактним проводом і конструкцією буде також проходити активний струм по поверхні забруднених ізоляторів і підвіски проводу, особливо у вологу погоду. На незаземленій конструкції при цьому буде виникати анодна ділянка і, відповідно, електрокорозія сталі або арматури.

На заземленій конструкції такий струм буде стікати в землю, що виключить таку електрокорозію.

Викладене викликає необхідність розроблення і застосування захисту від електростатичного потенціалу на додачу до звичайного заземлення.

Згідно з роботою всі металеві споруди (мости, шляхопроводи, опори), на яких кріпляться елементи контактної мережі, деталі кріплення контактної мережі на залізобетонних опорах, залізобетонних і неметалевих штучних спорудах, а також металеві конструкції, що окремо стоять (гідроколонки, світлофори, елементи мостів і шляхопроводів тощо), розташовані на відстані менше 5 м від частин контактної мережі, які знаходяться під напругою, повинні бути заземлені або обладнані пристроями захисного вимкнення при попаданні на споруди і конструкції високої напруги.

Заземленню підлягають також усі розташовані в зоні впливу контактної мережі змінного струму металеві споруди, на яких можуть виникати небезпечні напруги.

На шляхопроводах і пішохідних мостах, розташованих над електрифікованими коліями, повинні бути встановлені запобіжні щити і суцільний настил у місцях проходження людей для огороження частин контактної мережі, що знаходяться під напругою.

Мета досліджень. Метою роботи є розроблення заходів і нових конструктивних рішень із захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа постійного струму.

Нові експериментальні дослідження конструктивних рішень захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа

Методика лабораторних досліджень. Методика дослідження впливу електричного поля на бетон і арматуру та ефективність конструктивних рішень захисту від електрокорозії полягає у створенні лабораторної установки, що імітує умови, у яких експлуатується залізобетон конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа (рис. 6).

Дослідження виконано на зразках-балочках з розмірами $40 \times 40 \times 160$ мм. Зразки виготовлено з цементно-піщаної суміші складу 1:3 з $B/C = 0,5$. Невисока міцність і, відповідно, високе B/C призначені з метою прискорення досліджень. Зразки ущільнені протягом однієї хвилини на стандартному лабораторному вібростолі. При формуванні вздовж зразків по центру встановлено й закріплено арматурний стержень діаметром 5 мм з дротяної арматури класу Вр II.

При проведенні експериментів електроди підключалися до високовольтного перетворювача за схемами, наведеними на рис. 7, 8. Для зниження впливу негативного полюса на потенціал в арматурі зразка негативний електрод було екрановано сталевим екраном у вигляді трубки з підключенням його до контуру заземлення. Відстань від поверхні зразка до позитивного електрода становила 2 см, до негативного – 20 см, що якоюсь мірою, з урахуванням масштабного фактора, може відповідати співвідношенню відстаней між контактним проводом та конструкціями шляхопроводів і рейковою колією, як зворотним провідником.

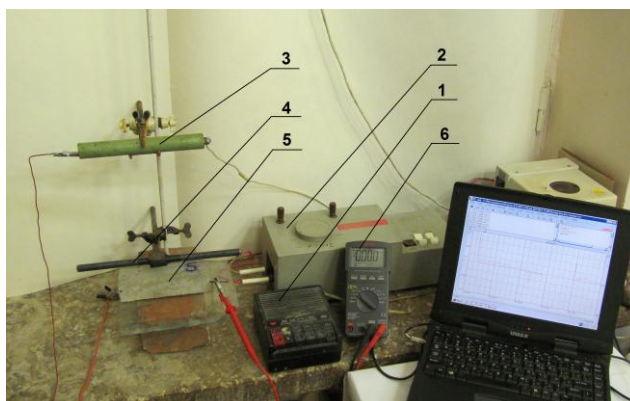


Рис. 6. Загальний вигляд установки для вимірювання потенціалів, наведених зовнішнім пульсуючим постійним електричним полем, на арматурі зразка: 1 – блок живлення, 12 В; 2 – високовольтний перетворювач «Розряд», 5, 25 кВ; 3 – екранований негативний електрод; 4 – позитивний електрод; 5 – досліджуваний зразок; 6 – цифровий мультиметр Sanwa PC500, підключений до ПЕОМ із програмним забезпеченням PCLink

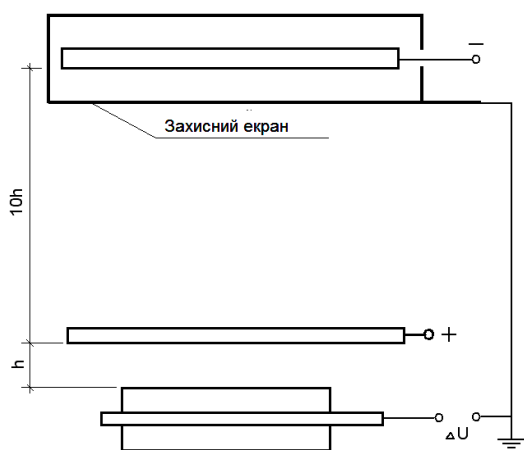


Рис. 7. Схема вимірювання потенціалу арматурного стержня неекранованого зразка з захисним екраном на негативному полюсі

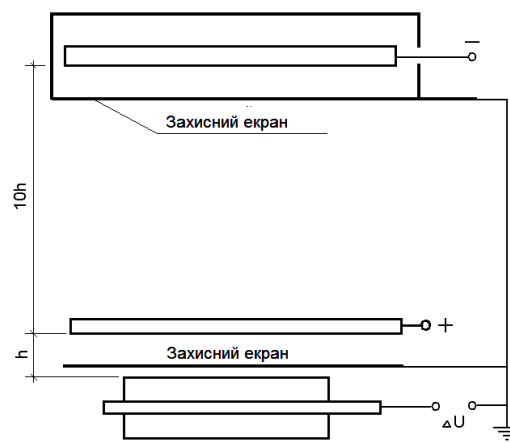


Рис. 8. Схема вимірювання потенціалу арматурного стержня екранованого зразка із захисним екраном на негативному полюсі

На електроди періодично подавалася різниця потенціалів величиною 5 кВ. Керування подачею напруги виконувалося в ручному режимі. Тривалість витримки зразка під дією електричного поля та без нього складала 30÷40 с і залежала від часу, за який наведений в арматурному стержні потенціал стабілізувався.

При дослідженні можливості захисту конструкцій шляхопроводів від електрокорозії під впливом електричного поля від контактного проводу застосовано металеві екрани, встановлені на відстані 3 мм від поверхні досліджуваних зразків та підключені до контуру заземлення (рис. 8). У якості захисних екранів досліджено сталевий лист товщиною 0,8 мм, сталеву

просічену сітку оцинковану товщиною 0,8 мм з чарунками 2×8 мм, фольгу алюмінієву двошарову армовану скло-сіткою товщиною 0,3 мм (Армофол тип В).

Показання наведеного потенціалу на арматурному стержні зразка зареєстровано вимірвальним приладом Sanwa PC-500 і автоматично подано через кожні 0,5 с на ПЕОМ. Зареєстровані за допомогою ПЕОМ показання додатково оброблені й за ними побудовано графічні залежності зміни наведеного потенціалу в часі.

Лабораторно-експериментальні випробування нових конструктивних рішень захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів. За викладеною методикою проведено

дослідження ефективності застосування захисних екранів різних конструкцій.

На рис. 9 наведено залежність зміни наведеного потенціалу на арматурі неекранованого зразка в часі. За даними графіка при подачі напруги на електроди установки потенціал на арматурі неекранованого зразка миттєво підвищується до 0,755 В. Потім, доволі швидко, зменшується до 0,05 В і в подальшому, вже зі значно меншою швидкістю, до 0,025 В. При вимкненні напруги в колі установки потенціал також миттєво здобуває негативний знак до значення -0,568 В, потім швидко підіймається до -0,045 В і в подальшому стабілізується до 0,0 В протягом хвилини.



Рис. 9. Потенціал, наведений зовнішнім пульсуючим постійним електричним полем 5 кВ, на арматурі неекранованого зразка ($V_{\max} = 0,755$ В, $V_{\min} = -0,568$ В)

При використанні захисних екранів (за схемою рис. 8) швидкість зміни знаку наведеного потенціалу при вмиканні та вимиканні напруги в колі майже не змінюється порівняно з незахищеним зразком, зате значення максимального позитивного та негативного потенціалу значно зменшуються.

При застосуванні в якості захисного екрана сталевих листа максимальне значення позитивного потенціалу V_{\max} не

перевищує 0,1 В, а максимальне значення негативного $V_{\min} = -0,067$ В (рис. 10), що в середньому у 8 разів менше за потенціали незахищеного зразка (рис. 11).

Близькі значення за зменшенням наведених потенціалів показали і захисні екрани, виготовлені зі сталевих просіченої сітки (рис. 12) та фольги алюмінієвої (рис. 13). Узагальнені дані досліджень наведено в таблиці.



Рис. 10. Потенціал, наведений зовнішнім пульсуючим постійним електричним полем 5 кВ, на арматурі екранованого сталевим листом зразка ($V_{\max} = 0,1 \text{ B}$, $V_{\min} = -0,067 \text{ B}$)

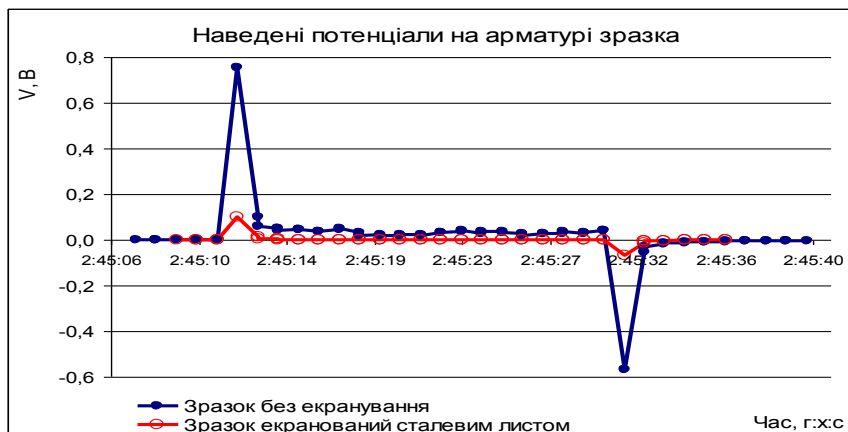


Рис. 11. Дані порівняння потенціалів, наведених зовнішнім пульсуючим постійним електричним полем 5 кВ, на арматурі неекранованого зразка та зразка, екранованого сталевим листом



Рис. 12. Потенціал, наведений зовнішнім пульсуючим постійним електричним полем 5 кВ, на арматурі екранованого сталевую сіткою зразка ($V_{\max} = 0,102 \text{ B}$, $V_{\min} = -0,082 \text{ B}$)



Рис. 13. Потенціал, наведений зовнішнім пульсуючим постійним електричним полем 5 кВ, на арматурі екранованого алюмінієвою фольгою зразка ($V_{\max} = 0,086$ В, $V_{\min} = -0,048$ В)

Таблиця

Узагальнені дані зменшення наведених потенціалів різними екранами

№ п/п	Зразок	V_{\max}	V_{\min}	$K_e(V_{\max})$	$K_e(V_{\min})$	$K_e\Sigma$
1	Неекранований	0,755	-0,568	-	-	-
2	Екранований сталевим листом	0,1	-0,067	7,6	8,5	8,0
3	Екранований сталевією сіткою	0,102	-0,082	7,4	6,9	7,2
4	Екранований алюмінієвою фольгою	0,086	-0,048	8,8	11,8	10,3

Примітка. $K_e(V_{\max})$, $(K_e(V_{\min}))$ – зменшення, у рази, максимального позитивного (максимального негативного) наведеного потенціалу на арматурі зразка; $K_e\Sigma$ – сумарне зменшення, у рази, наведеного потенціалу на арматурі зразка.

Висновки і галузь застосування.

Проведено теоретичні та експериментальні дослідження заходів із захисту конструкцій шляхопроводів на електрифікованих ділянках залізниць. Отримані результати використано при розробленні «Рекомендацій із захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа» [4]. Галузь

застосування – утримання, ремонт і реконструкція шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа постійного струму. Техніко-економічний і соціальний ефект від впровадження результатів досліджень буде обумовлений зниженням експлуатаційних витрат на утримання шляхопроводів, підвищенням строку їх служби та безпеки руху.

Список літератури

1. Чехов, В.И. Экологические аспекты передачи электроэнергии [Текст] / под ред. Г.К. Зарудского. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 44 с.
2. Применение метода линий поля к задачам электростатики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.physel.ru/-mainmenu-29/-ainmenu-31/350-s-19--.html>.

3. Об электрификации железных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.1520mm.ru/energy/main.phtml>.

4. Рекомендації із захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа [Текст] / А.А. Пługін, А.М. Пługін, С.В. Мірошніченко, Д.А. Пługін та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 20 с.

Ключові слова: електрокорозія, шляхопровід, контактна мережа, електростатичне поле, екрануючий захист.

Анотації

Метою роботи є розроблення заходів і нових конструктивних рішень із захисту від електрокорозії конструкцій шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа постійного струму. Однією з проблем експлуатації шляхопроводів, на яких закріплена контактна мережа постійного струму, особливо в умовах підвищеної вологості, є електрокорозія арматури, закладних деталей, бетону конструкцій. Виявлено, що причиною цих руйнувань є виникнення електростатичного поля в повітрі від потенціалу в контактному проводі, яке індукуює протилежний потенціал на поверхні металу конструкції чи арматури. Це викликає необхідність розроблення, в доповнення до звичайного заземлення, влаштувань екрануючого захисту. Наведено теоретичні передумови проектування екрануючого захисту від електростатичного поля, методику та результати лабораторно-експериментальних досліджень.

Целью работы является разработка мероприятий и новых конструктивных решений по защите от электрокоррозии конструкций путепроводов, на которых закреплена контактная сеть постоянного тока. Одной из проблем эксплуатации путепроводов, на которых закреплена контактная сеть постоянного тока, особенно в условиях повышенной влажности, является электрокоррозия арматуры, закладных деталей, бетона конструкций. Вывявлено, что причиной этих разрушений является возникновение электростатического поля в воздухе от потенциала в контактном проводе, которое индуцирует противоположный потенциал на поверхности металла конструкции или арматуры. Это вызывает необходимость разработки, в дополнение к обычному заземлению, устройств экранирующей защиты. Приведены теоретические предпосылки проектирования экранирующей защиты от электростатического поля, методика и результаты лабораторно-экспериментальных исследований.

The aim is to develop activities and new design solutions to protect against electrocorrosion construction of overpasses, which is fixed contact network of direct current. One of the problems of exploitation of overpasses, which is fixed contact network of direct current, especially in high humidity, is electrocorrosion fittings, embedded parts, and concrete structures. It was revealed that the cause of this destruction is the emergence of the electrostatic field in the air from the potential in the contact wire, which induces an opposite potential on the surface of the metal structures or fixtures. This necessitates the development, in addition to a grounding shield of protection devices. The theoretical background of designing the shielding protection from electrostatic fields, methods and results of laboratory and pilot studies.