

В. О. Дьяков¹
А. В. Антонов^{1,2}
О. А. Данилов¹
Є. О. Наумов¹

ПРОТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

¹Український державний університет науки і технологій, Дніпро;

²ТОВ «СОЛАР СТАЛЬКОНСТРУКЦІЯ», Дніпро

Досліджено питання підвищення протикорозійного захисту підземних комунікацій та споруд в зоні впливу блукальних струмів електричного рейкового транспорту постійного струму шляхом застосування активних засобів захисту. Зауважено, що щорічно збільшується протяжність підземних комунікацій та споруд, а їх захисту від впливу корозійних процесів приділяється все менше уваги. Особливо важливо приділяти увагу протикорозійному захисту підземних комунікацій та споруд у містах з наявністю рейкового електричного транспорту. Проведена оцінка стану наявних підземних споруд, які розташовуються в зоні впливу рейкового електричного транспорту постійного струму, проаналізовано та підбрано варіанти ефективних та енергоефективних засобів активного протикорозійного захисту. Розглянуто проблематику корозійного руйнування підземних комунікацій та споруд в умовах міст з наявністю електричного транспорту. Описано механізм процесу корозії металу та вказано на основні фактори, які прискорюють процеси руйнування металів. Запропоновано технічні заходи для мінімізації впливу зовнішніх чинників на прискорення процесу корозії металів. Доведено, що для визначення потенціалів підземних комунікацій та споруд, наведених струмами витоку з анодного заземлювача, сам заземлювач можна замінити точковим заземлювачем. Одним з перспективних засобів для здійснення протикорозійного захисту підземних споруд є використання пристрою для протикорозійного захисту підземних споруд. На кафедрі інтелектуальних систем енергопостачання Українського державного університету науки і технологій розроблені засоби активного захисту від корозійного руйнування підземних комунікацій та споруд, які мають такі техніко-економічні переваги: уніфікація захистів в усіх потенційних зонах рейок; зменшення капітальних витрат; усунення витрати електричної енергії на живлення станцій катодного захисту і посиленних електродренажів; зменшення витрат електричної енергії в рейкових мережах за рахунок шунтування рейок дренажними пристроями; зняття додаткового позитивного потенціалу, що накладається на рейки, посиленими електричними дренажами і поліпшення корозійної стану приєднаних до рейок споруд (залізобетонні опори і фундаменти контактної мережі та інші конструкції).

Ключові слова: підземні споруди, електричний рейковий транспорт постійного струму, корозійні руйнування, протикорозійний захист.

Вступ

В умовах міст з розгалуженими підземними комунікаціями та спорудами важливим питанням постає захист їхніх металевих частин від впливу природних корозійних процесів, які пришвидшуються зовнішніми джерелами.

Кількість і протяжність міських підземних споруд з року в рік збільшується. При цьому, велика частка міських підземних споруд експлуатуються 40 років і більше.

Зазначимо, що останнім часом в умовах міст мало уваги приділяється протикорозійному захисту і як результат — ресурсні характеристики міських підземних мереж різко скорочуються.

Метою статті є підвищення протикорозійного захисту підземних комунікацій та споруд в зоні впливу блукальних струмів електричного рейкового транспорту постійного струму шляхом застосування активних засобів захисту.

Відповідно до вказаної мети в роботі вирішуються *задачі*:

1. Оцінка стану існуючих підземних споруд, які розташовуються в зоні впливу рейкового електричного транспорту постійного струму;

2. Аналіз та підбір ефективних та енергоефективних засобів активного протикорозійного захисту;
3. Проведення розрахунків та оцінка позитивного впливу запропонованих засобів активного протикорозійного захисту підземних комунікацій та споруд.

Результати досліджень

В умовах міст з розгалуженими підземними комунікаціями та спорудами важливим питанням постає їх захист від впливу природних корозійних процесів, які пришвидшуються зовнішніми джерелами [1], [2].

Механізми процесів корозії металу під дією агресивного середовища та електрохімічної корозії мають однаковий характер. Неодмінною умовою перебігу процесу корозії є контакт металу з електролітом, тобто з вологою (грунтовою, атмосферною) і розчиненими в ній різними хімічними елементами (солями, кислотами, лугами).

Через неоднорідність структури і складу металу, а також неоднорідності електроліту, різні ділянки поверхні металу, що знаходяться в контакті з електролітом, навіть за відсутності зовнішнього електричного поля отримують різні за величиною електрохімічні потенціали, наслідком чого є протікання струму по замкнутому колу гальвано-корозійної пари, при цьому на поверхні металу завжди будуть ділянки, з яких корозійний струм стікає в електроліт (анод) і ділянки, в які струм повертається назад з електроліту в метал (катод). В анодній ділянці відбувається розчинення металу, тобто поступове корозійне руйнування, в катодній — метал зберігається повністю, але за наявності ізоляції металевій конструкції від агресивного середовища відбувається порушення адгезії ізоляції.

Процес електрохімічної корозії призводить до інтенсивного руйнування: металевих частин споруд — зменшується їх несуча здатність; металевих оболонок кабелів — відбувається порушення герметичності, з'являються пробої ізоляції; водо- та газопроводів — зменшення їх ресурсних характеристик, поява аварійних ситуацій. Всі описані негативні процеси спричиняють збільшення витрат на обслуговування та ремонти комунікацій та споруд.

Основним критерієм оцінки загрози електрохімічної корозії від впливу рейкового електричного транспорту є величина потенціалу рейок відносно землі.

Особливо сильно процес електрохімічної корозії проявляється в містах з наявністю рейкового електричного транспорту, який живиться від мережі постійного струму. Це ділянки підземних комунікацій та споруд, які попадають в зону впливу струмів витоку, що стікають з рейок [2].

Вищевказане підтверджує необхідність використання засобів протикорозійного захисту для підвищення таких властивостей підземних споруд, як довговічність та безвідмовність, зокрема, на зменшення впливу ґрунтової та електрохімічної корозії на підземні споруди, зменшення витрат на їх обслуговування та ремонт.

Як активні захисти застосовують: електродренажний захист, катодний захист, дренажно-катодний захист, захист підсилим дренажем, захист уніфікованим дренажем, протекторний захист.

Електродренажний захист полягає у відведенні блукального струму з підземних комунікацій та споруд через поляризовану дренажну установку в рейки [3], [4]. Поляризований дренаж застосовують, коли середній потенціал підземних комунікацій та споруд вищий за середній захисний потенціал. Поляризований дренаж ефективний переважно в зоні розташування тягової підстанції. Середньорічний струм усіх установок електродренажного захисту (разом з незалізничними), підключених до рейкової колії магістральних ділянок електрифікованих залізниць не повинен перевищувати 25 % загального навантаження тягової підстанції. Принципова схема поляризованого електричного дренажу показана на рис. 1.

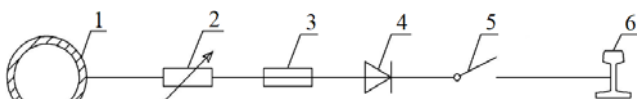


Рис. 1. Принципова схема поляризованого електричного дренажу: 1 — споруда, що захищається; 2 — регульований резистор; 3 — плавкий запобіжник (автоматичний вимикач); 4 — випрямляч; 5 — рубильник; 6 — тягова рейка

редньорічний струм усіх установок електродренажного захисту (разом з незалізничними), підключених до рейкової колії магістральних ділянок електрифікованих залізниць не повинен перевищувати 25 % загального навантаження тягової підстанції. Принципова схема поляризованого електричного дренажу показана на рис. 1.

Потенціал підземних комунікацій та споруд після включення електродренажного захисту повинен знаходитись у межах мінімального та максимального захисного потенціалу [5]. Якщо, після ввімкнення електродренажного захисту підземні комунікації та споруди залишаються незахищеними, тому необхідно встановлювати підсилювальний електричний дренаж або катодну станцію.

Посилений електричний дренаж, принципова схема якого показана на рис. 2, зазвичай, є поляризованим електродренажем, доповненим джерелом постійного струму.

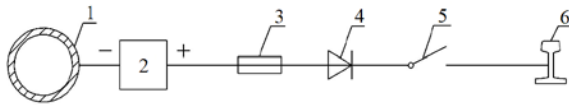


Рис. 2. Принципова схема посиленого електричного дренажу: 1 — споруда, що захищається; 2 — джерело постійного струму; 3 — плавкий запобіжник (автоматичний вимикач); 4 — випрямляч; 5 — рубильник; 6 — тягова рейка



Рис. 3. Принципова схема катодного захисту: 1 — споруда, що захищається; 2 — джерело постійного струму; 3 — анодний заземлювач

замкнеться через ґрунтовий електроліт і на оголених ділянках підземних комунікацій та споруд в місцях пошкодження ізоляції почнеться процес катодної поляризації.

Як катодні станції зазвичай використовують мережеві катодні станції. Крім того, для живлення посиленних дренажів та катодних станцій можна використовувати відновлювані джерела живлення електричної енергії з накопичувачами [7].

На кафедрі інтелектуальних систем енергопостачання Українського державного університету науки і технологій розроблені засоби активного захисту від корозійного руйнування підземних комунікацій та споруд [1], [7]—[10], які мають такі техніко-економічні переваги:

- 1) уніфікація захистів в усіх потенційних зонах рейок;
- 2) зменшення капітальних витрат;
- 3) усунення витрати електричної енергії на живлення станцій катодного захисту і посиленних електродренажів;
- 4) зменшення втрат електричної енергії в рейкових мережах за рахунок шунтування рейок дренажними пристроями;
- 5) зняття додаткового позитивного потенціалу, що накладається на рейки, посиленними електричними дренажами, і поліпшення корозійного стану приєднаних до рейок споруд (залізобетонні опори і фундаменти контактної мережі та інші конструкції).

Уніфікований дренажний пристрій захисту від електрокорозії (рис. 4) скомпонований з поляризованого електродренажу і поляризованого струмовідводу на заземлювач. Залежно від полярності рейок захист має два режими роботи:

а) за позитивної полярності рейок електричне поле в ґрунті створює сприятливий напрям блукальних струмів до споруди. Вентиль VD-1 закривається, через VD-2 струм з рейок протікає до заземлювача, посилюючи захисну дію блукальних струмів;

б) за негативної полярності рейок вентиль VD-2 закривається, а через VD-1 забезпечується електродренажний захист на рейки.

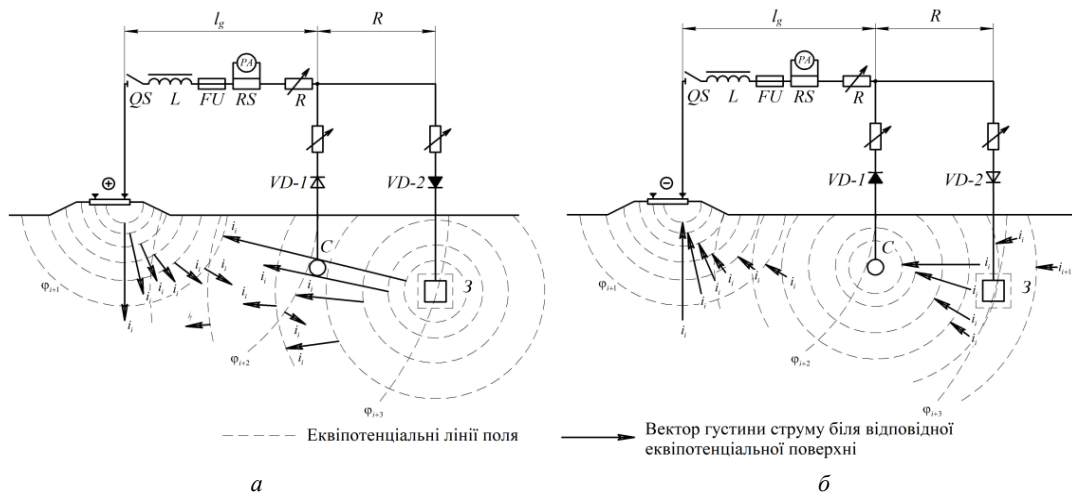


Рис. 4. Принципова схема роботи уніфікованого дренажного пристрою захисту від електрокорозії

Розташування допоміжного заземлювача поруч зі спорудою, що захищається, має перевагу перед вертикальним, оскільки споруда, що при цьому захищається, зустрічається з екіпотенціальною поверхнею еліпсоїдів обертання, конфокальних з поверхнею заземлювача, на значно більшій площі.

Для збільшення струмопровідності і терміну служби допоміжних заземлювачів рекомендується їхня засипка коксовими заповнювачами.

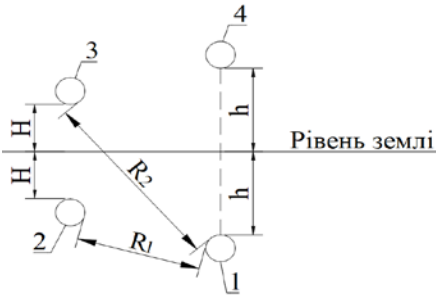


Рис. 5. Схема розташування заземлення та підземної споруди: 1 — підземна комунікація чи споруда; 2 — заземлювач; 3 — дзеркальне відображення заземлювача; 4 — дзеркальне відображення підземної споруди

Для визначення довжини зони захисту уніфікованого дренажу в розрахункових формулах необхідно враховувати конфігурацію анодного заземлювача. Схема розташування підземних комунікацій та споруд та анодного заземлювача показана на рис. 5.

Потенціал підземних комунікацій та споруд по відношенню до віддаленої точки землі φ_{30} , який наведений струмом, що стікає з горизонтального заземлювача, складається з двох частин:

$$\varphi_{30} = \varphi_3 + \varphi_0, \quad (1)$$

де φ_3 — потенціал, зумовлений струмом витоку із заземлювача; φ_0 — потенціал, зумовлений струмами витоків із підземних комунікацій та споруд.

В межах зони захисту, для практичних цілей, в розрахункових формулах наведеного потенціалу можна знехтувати потенціалом, який наведено струмами витоку з підземних комунікацій та споруд, що захищаються, і вважати

$$\varphi_c = -\varphi_3. \quad (2)$$

В цьому випадку для визначення φ_c достатньо знайти потенціал середовища на поверхні підземних комунікацій та споруд. Це припущення дозволяє розраховувати потенціал підземних комунікацій та споруд відносно землі за формулою [8]

$$\varphi_c = \frac{I_3 \rho}{8\pi l} \ln \frac{x-l+\sqrt{(x-l)^2+R_1^2}}{x+l+\sqrt{(x+l)^2+R_1^2}} \cdot \frac{x-l+\sqrt{(x-l)^2+R_2^2}}{x+l+\sqrt{(x+l)^2+R_2^2}}, \quad (3)$$

де I_3 — струм анодного заземлювача, А; ρ — питомий електричний опір ґрунту, Ом·м; x — координата штучної споруди, км; l — довжина половини заземлювача, м; R_1 — відстань від заземлювача до підземної комунікації чи споруди, м; R_2 — відстань від дзеркального відображення заземлювача до підземної комунікації чи споруди, м.

Також відома формула для розрахунку потенціалу підземних комунікацій та споруд, який наведений точковим заземлювачем [8]

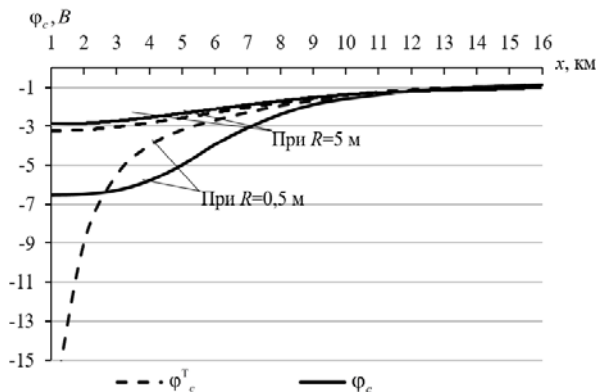


Рис. 6. Потенціал підземної споруди, який наведений струмами витоку з заземлювача

$$\varphi_c^T = \frac{I_3 \rho}{8\pi l} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{(x^2+R_1^2)}} + \frac{1}{\sqrt{(x^2+R_2^2)}} \right). \quad (4)$$

Результати розрахунків показані на рис. 6. Для визначення потенціалів підземних комунікацій та споруд, які наведені струмами витоку з анодного заземлювача, в розрахункових формулах заземлювач можна замінити точковим заземлювачем за умови $R_1 \geq l$.

Обговорення отриманих результатів

Вказане вище підтверджує необхідність використання засобів протикорозійного захисту для підвищення таких властивостей підземних комунікацій та споруд, як довговічність та безвідмовність, зокрема, на зменшення впливу ґрунтової та

електрохімічної корозії підземних комунікацій та споруд, зменшення витрат на їх обслуговування та ремонт.

Одним з таких засобів є пристрій для протикорозійного захисту підземних комунікацій та споруд [7], який направлений на протикорозійний захист підземних комунікацій та споруд з можливістю використання декількох джерел живлення, які забезпечують стабільну подачу та можливість регулювання значення захисного потенціалу для захисту підземних комунікацій та споруд від ґрунтової та електрохімічної корозії.

Висновки

1. Щорічно збільшується протяжність підземних комунікацій та споруд, а їх захисту від впливу корозійних процесів приділяється недостатньо уваги.

2. Особливо важливо приділяти увагу протикорозійному захисту підземних комунікацій та споруд у містах з наявністю рейкового електричного транспорту.

3. Для визначення потенціалів підземних комунікацій та споруд, які наведені струмами витоку з анодного заземлювача, сам заземлювач можна замінити точковим заземлювачем.

4. Одним з перспективних засобів для здійснення протикорозійного захисту підземних споруд є використання пристрою для протикорозійного захисту підземних споруд [7].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В. Г. Сиченко, В. О. Дьяков, Д. Ю. Колесник, і О. М. Полях, *Протикорозійний захист суміжних пристроїв у системах тягового електропостачання*, моногр., В. Г. Сиченко, Ред. Дніпро, Україна: вид-во ПФ «Стандарт-сервіс», 2015, 340 с. ISBN 978-966-97463-9-9.
- [2] В. О. Дьяков, «Противокоррозионная защита подземных сооружений», *Електрифікація транспорту*, № 4, с. 30-37, 2012.
- [3] М. М. Глазко, В. А. Дьяков, и В. И. Ростовский, «Противокоррозионная защита силовых кабелей в зоне влияния электротранспорта», *Повышение эффективности работы устройств электрического транспорта*, межвузовский сб. научн. тр. Днепрпетровск: Участок оперативной полиграфии ДИИТа, с. 89-93, 1993.
- [4] В. О. Дьяков, А. В. Антонов, і К. Р. Єфремова, «Протикорозійний захист пристроїв контактної мережі в зоні стикування електрифікованих ділянок залізниць постійного та змінного струму», *Енергетика: економіка, технології, екологія*, № 4, с. 76-83, 2018.
- [5] ДСТУ Б В.2.5-29: 2006, *Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії*. Київ, Україна, 2006, 120 с.
- [6] М. В. Мелец, Р. Р. Скрицкий, Б. В. Поверенная, В. В. Гнилов, и В. А. Дьяков, «Преимущества маломощных катодных установок», *Городское хозяйство Украины*, № 4, 28 с., 1985.
- [7] В. О. Дьяков, А. В. Антонов, і Р. М. Мальгівський, «Пристрій для протикорозійного захисту підземних споруд». Патент на корисну модель № 136229. Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 12.08.2019, Бюл. № 15.
- [8] Д. Б. Ломазов, В. А. Дьяков, и В. И. Ростовский, «Унифицированная антикоррозионная защита», *Электричество*, с. 66-68, 1975.
- [9] Д. Б. Ломазов, В. А. Дьяков, и В. И. Ростовский, «Совместно-дренажная унифицированная антикоррозионная защита городских подземных сооружений», в *Опыт проектирования, строительство и эксплуатация устройств защиты подземных сооружений от электрохимической коррозии* (Ленинградская организация общества «Знание» РСФСР, ЛДНТП), 1976, с. 79-82.
- [10] В. А. Дьяков, «Противокоррозионная защита подземных сооружений», *Електрифікація транспорту*, № 4, с. 30-37, 2012.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.10.2021

Дьяков Віктор Олексійович — канд. техн. наук, доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: dva-44@urk.net ;

Антонов Андрій Владиславович — канд. техн. наук, доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання; заступник головного інженера ТОВ «СОЛАР СТАЛЬКОНСТРУКЦІЯ», e-mail: a.v.antonov91@gmail.com ;

Данилов Олексій Анатолійович — старший викладач кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: fduch@ua.fm ;

Наумов Євген Олегович — студент факультету управління енергетичними процесами e-mail: fsdo204sdo@gmail.com .

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

V. O. Diakov¹
 A. V. Antonov^{1, 2}
 O. A. Danylov¹
 Ye. O. Naumov¹

Corrosion Protection of Underground Structures

¹Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro;

²LLC «SOLAR STEELCONSTRUCTION», Dnipro

The article is aimed at achieving increased corrosion protection of underground communications and structures in the area of influence of stray currents of electric rail transport of direct current through the use of active means of protection. It should be noted that the length of underground communications and structures is increasing every year, and less and less attention is paid to their protection against the effects of corrosion processes. It is especially important to pay attention to corrosion protection of underground communications and buildings in cities with rail electric transport. The evaluation of the condition of the existing underground structures, which are located in the zone of influence of rail electric transport of direct current, is analyzed, the variants of effective and energy — efficient means of active corrosion protection are analyzed and selected. The problem of corrosion destruction of underground communications and structures in the conditions of cities with the presence of electric transport is considered. The mechanism of metal corrosion process is described and the main factors that accelerate the destruction of metals are indicated. Technical measures are proposed to minimize the influence of external factors on the acceleration of the corrosion process of metals. It is proved that when determining the potentials of underground communications and structures, which are caused by leakage currents from the anode grounding, the grounding itself can be replaced by a point grounding. One of the promising means for the implementation of corrosion protection of underground structures is the use of a device for corrosion protection of underground structures. The Department of Intelligent Power Supply Systems of the Ukrainian State University of Science and Technology has developed means of active protection against corrosion destruction of underground communications and structures, which have the following technical and economic advantages: unification of protections in all potential zones of rails; reduction of capital expenditures; elimination of the expense of electric energy for food of stations of cathodic protection and the strengthened electric drainages; reduction of losses of electric energy in rail networks due to shunting of rails by drainage devices; removal of additional positive potential imposed on the rails by reinforced electrical drainage, and improving the corrosion of the structures attached to the rails (reinforced concrete supports and foundations of the catenary and other structures).

Keywords: underground structures, electric rail transport of direct current, corrosion destruction, corrosion protection.

Diakov Victor O. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Intelligent Power Supply Systems, e-mail: dva-44@urk.net ;

Antonov Andrii V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Intelligent Power Supply Systems, e-mail: a.v.antonov91@gmail.com ;

Danylov Oleksii A. — Senior Lecturer, of the Chair of Intelligent Power Supply Systems, e-mail: fduch@ua.fm ;

Naumov Yevhen O. — Student, of the Department of Energy Process Management, e-mail: fsdo204sdo@gmail.com

В. А. Дьяков¹
 А. В. Антонов^{1, 2}
 А. А. Данилов¹
 Е. О. Наумов¹

Противокоррозионная защита подземных сооружений

¹Украинский государственный университет науки и технологий, Днепр;

²ООО «СОЛАР СТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ», Днепр

Исследован вопрос повышения противокоррозионной защиты подземных коммуникаций и сооружений в зоне воздействия блуждающих токов электрического рельсового транспорта постоянного тока путем применения активных средств защиты. Отмечено, что ежегодно увеличивается протяженность подземных коммуникаций и сооружений, а их защите от влияния коррозионных процессов уделяется все меньше внимания. Особенно важно уделять внимание противокоррозионной защите подземных коммуникаций и сооружений в городах с наличием

рельсового электрического транспорта. Проведена оценка состояния существующих подземных сооружений, которые располагаются в зоне воздействия рельсового электрического транспорта постоянного тока, проанализированы и подобраны варианты эффективных и энергоэффективных средств активной противокоррозионной защиты. Рассмотрена проблематика коррозионного разрушения подземных коммуникаций и сооружений в условиях городов с наличием электрического транспорта. Описан механизм процесса коррозии металла и указаны основные факторы, которые ускоряют процессы разрушения металлов. Предложены технические меры по минимизации влияния внешних факторов на ускорение процесса коррозии металлов. Доказано, что при определении потенциалов подземных коммуникаций и сооружений, приведенных токами утечки от анодного заземлителя, его можно заменить точечным заземлителем. Одним из перспективных средств для противокоррозионной защиты подземных сооружений является использование устройства для противокоррозионной защиты подземных сооружений. На кафедре интеллектуальных систем энергоснабжения Украинского государственного университета науки и технологий разработаны средства активной защиты от коррозионного разрушения подземных коммуникаций и сооружений, имеющие следующие технико-экономические преимущества: унификация защит во всех потенциальных зонах рельсов; уменьшение капитальных затрат; устранение расхода электрической энергии на питание станций катодной защиты и усиленных электродренажей; уменьшение потерь электрической энергии в рельсовых сетях за счет шунтирования рельсов дренажными устройствами; снятие дополнительного положительного потенциала, накладываемого на рельсы, усиленными электрическими дренажами, и улучшение коррозионной обстановки присоединенных к рельсам сооружений (железобетонные опоры и фундаменты контактной сети и другие конструкции).

Ключевые слова: подземные сооружения, электрический рельсовый транспорт постоянного тока, коррозионные разрушения, противокоррозионная защита.

Дьяков Виктор Алексеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры интеллектуальных систем энергоснабжения, e-mail: dva-44@urk.net ;

Антонов Андрей Владиславович — канд. техн. наук, доцент кафедры интеллектуальных систем энергоснабжения; заместитель главного инженера ООО «СОЛАР СТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ», e-mail: a.v.antonov91@gmail.com ;

Данилов Алексей Анатолиевич — старший преподаватель кафедры интеллектуальных систем энергоснабжения, e-mail: fduch@ua.fm ;

Наумов Евгений Олегович — студент факультета управления энергетическими процессами, e-mail: fsdo204sdo@gmail.com