

5. Качан Ю.Г., Николенко А.В., Кузнецов В.В. Моделирование асинхронного двигателя для условий некачественного питания. Проблемы повышения эффективности электромеханических преобразователей в электроэнергетических системах. // Материалы междунар. науч.-техн. конф. — Севастополь, 2009. — С. 55-56.

6. Електромагнітна сумісність в системах електропостачання. /І.В.Жежеленко, А.К.Шидловський, Г.Г.Півняк, Ю.Л. Сасенко. – Дніпропетровськ: Видавництво НГУ, 2009. - 323 с.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Качаном Ю.Г.

УДК 652.1:586.24

О.О. Азюковський, канд. техн. наук

(Україна, м. Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»)

ПОТЕНЦІАЛ ПІДЗЕМНОГО МЕТАЛЕВОГО ТРУБОПРОВОДУ СФОРМОВАНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ

Вступ. Електрохімічний захист підземних металевих трубопроводів є актуальною задачею, з огляду на те, що газопровідна система України є однією з найстаріших у Європі. Розгалужена система підземних газопроводів високого, середнього тиску та розподільчих мереж з низьким тиском газу, на сьогоднішній день складається, переважно, з металевих трубопроводів. Забезпечення цілісності цієї системи зумовлено також потребами мінімізувати втрати газу під час його транспортування, екологічними обмеженнями тощо. Мінімізація корозійних негативних наслідків, шляхом зменшення струмів витоку з підземного металевого трубопроводу до навколишнього ґрунту здійснюється внаслідок формування захисного потенціалу на трубопроводі. У випадку, коли захисний потенціал є значно нерівномірним за довжиною трубопроводу або за часом, виникають струми вирівнювання, що протікають поверхнею металу. В точках витікання струму з металеві труби активно розвивається корозія, що призводить до порушення цілісності трубопроводу та витоку з нього речовини, що транспортується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що розвиток сучасної елементної бази і технологій виміру електротехнічних величин, зумовлюють проблему забезпечення незмінності захисного потенціалу підземного металофонду з часом через розширення переліку електромагнітних впливів на розподілену систему підземних сталевих газопроводів [1 – 3]. Ця проблема є актуальною й неповною мірою вирішеною [4,5]. Неузгодженість роботи активних елементів системи захисту від електрохімічної корозії зумовлює використання інших підходів до забезпечення потрібного захисного потенціалу. Особливо в умовах активного впливу струмів, що блукають [4,5]. Складність математичного опису об'єкту, що є розгалуженим у просторі й знаходиться під одночасним впливом багатьох параметрів та у середовищі, якому властиві різні фізико-хімічні характеристики викликає необхідність додаткових досліджень [6,7].

Метою роботи є обґрунтування необхідності уточнення методик вимірювання потенціалу підземного металевого трубопроводу, що захищається від електрохімічної корозії напівактивними засобами захисту.

Матеріали досліджень. Система електрохімічного захисту є ефективним засобом протидії електрохімічній корозії. Розрізняють три види електрохімічного захисту підземного металофонду (рис. 1):

- протекторний захист;
- катодний захист;
- електродренажний захист.

Протекторний захист здійснюється за допомогою гальванічного елемента – анода протектора (рис. 1,а). При його з'єднання з металевим трубопроводом утворюється гальванічна пара. У цій парі підземний металевий трубопровід відіграє роль катода, внаслідок від'ємного електричного потенціалу. Це зумовлює стікання електронів на катод а іонів до ґрунту. Струм, що утворюється, натікає до підземного металевого трубопроводу, що і є головною метою електрохімічного захисту.

Катодний захист відрізняється від протекторного в основному тим, що струм натікання на металевий об'єкт, що захищається, утворено зовнішнім джерелом (рис. 1,б). В якості анода використовується будь-який заземлювач, головною вимогою до якого є спроможність утворювати умови для протікання струму з ґрунту до металевого трубопроводу.

Електродренажний захист в якості захисного струму використовує струм, що блукає (рис. 1,в). Цей струм зумовлений насамперед залізничним електротранспортом. Рейки є провідником тягового електричного струму. Внаслідок опору його протіканню, струм стікає з рейок до ґрунту й натікає до підземного металевого трубопроводу. У точці витоку струму з трубопроводу виникає інтенсивний корозійний про-

цес. Організоване відведення струму (дренування) з трубопроводу до рейок забезпечує натікання струму до металевих труб.

В умовах активного впливу струмів, що блукають, найбільш ефективним є електрохімічний захист. Зниження анодних струмів катодними за допомогою зовнішнього джерела постійного струму забезпечує формування потрібного захисного потенціалу підземного металевого трубопроводу. Катодна поляризація, це процес при якому матеріал, що кородує набуває катодного зміщення. У наслідок цього електрохімічний потенціал об'єкту, що захищається, стає більш від'ємним у порівнянні зі стаціонарним потенціалом.

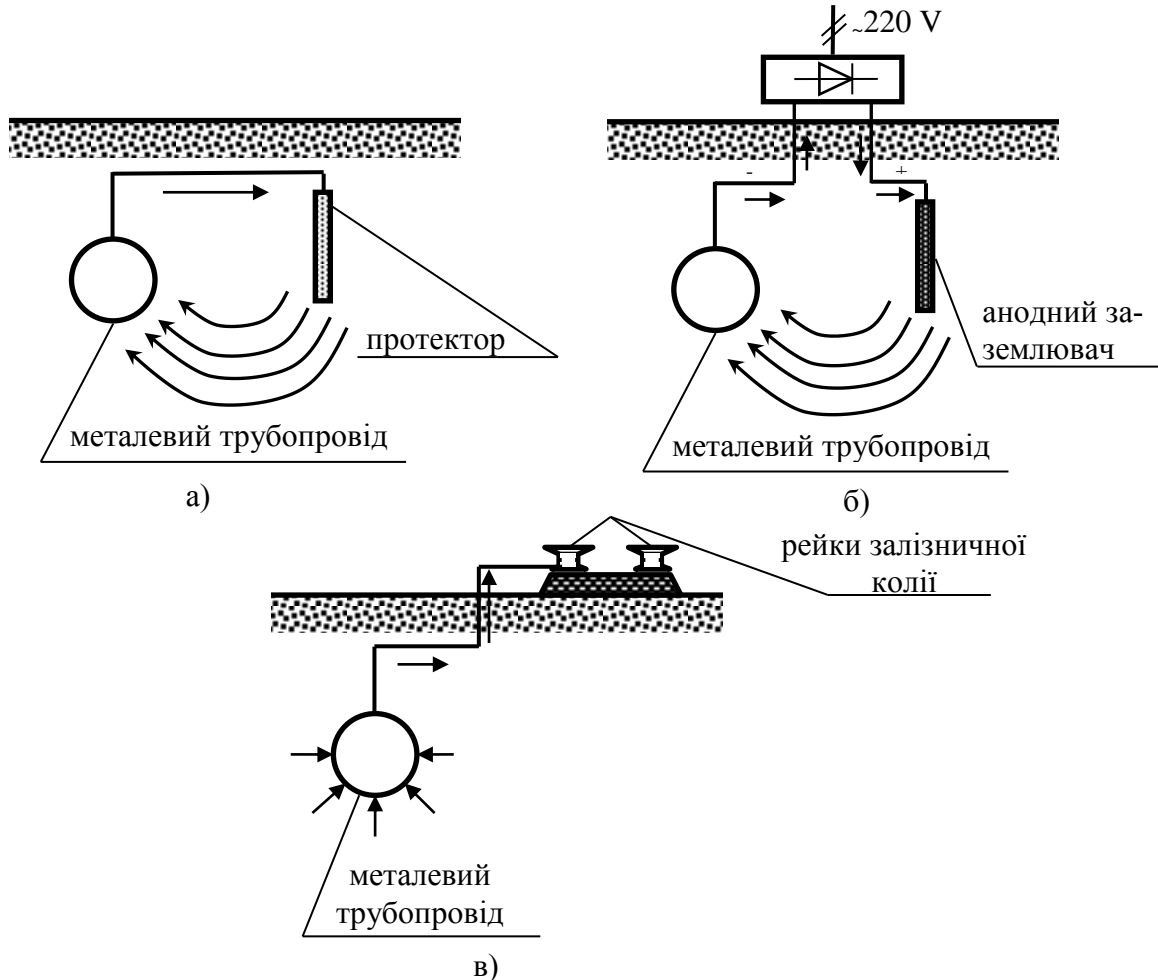


Рис. 1 Схеми протекторного (а), катодного (б), електродренажного (в) захисту

Як зазвичай, щільність струму катодної поляризації j та електрохімічний потенціал металу U пов'язують залежністю $U = f(j)$ (рис. 2). Стаціонарний потенціал металевого підземного трубопроводу (U_{st}) початковим значенням. Катодне зміщення ΔU є від'ємне збільшення потенціалу по відношенню до власного стаціонарного значення (U_{st}). Точка зміни похідної ($O_2 - H_2$) відповідає максимальному значенню дифузійного струму (j_{pr}). Перевищення цього значення призводить до ускладнень з постачання кисню через електроліт й відбувається виділення водню. Цей режим роботи системи катодного захисту є руйнівним для металеві підземної комунікації, тому перевищення максимально припустимої щільності струму є неможливим. Головними критеріями електрохімічного захисту є значення мінімальної щільності струму захисту j_{min} , мінімальне зміщення захисного потенціалу ΔU_{min} , мінімальний захисний потенціал U_{min} , максимальний захисний потенціал U_{max} .

Слід зазначити, що навіть невеликий за значенням катодний струм має захисні властивості, оскільки він все одно зменшує струм анодних пар. Визначення значення захисного струму, що унеможливує струми стікання з підземного металевого трубопроводу до ґрунту є головною задачею електрохімічного захисту. Захисний струм, що натікає на трубопровід є таким, що нерівномірно розподілений за довжиною трубопроводу. Безпосередньо біля точки підключення станції катодного захисту (СКЗ) до металевого трубопроводу щільність струму є максимальною й такою, що значно перевищує значення j_{min} . Зі зростанням відстані від СКЗ до точки виконання виміру, щільність струму зменшується. Відстань, на

якій виконується умова $j = j_{\min}$ є межею роботи однієї СКЗ (рис. 3). Щільність струму j в точці, що є наближеною до анодного заземлювача, є максимальною. Зі збільшенням відстані від цієї точки за координатою x щільність струму зменшується.

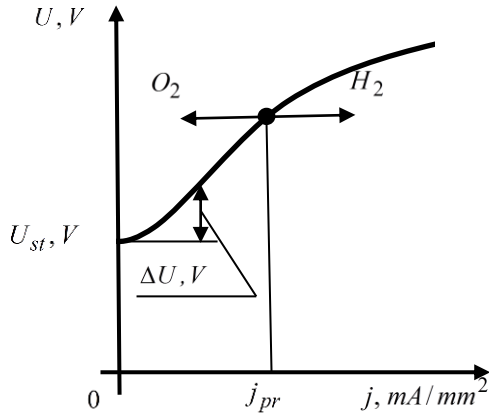


Рис. 2 Катодна поляризаційна характеристика

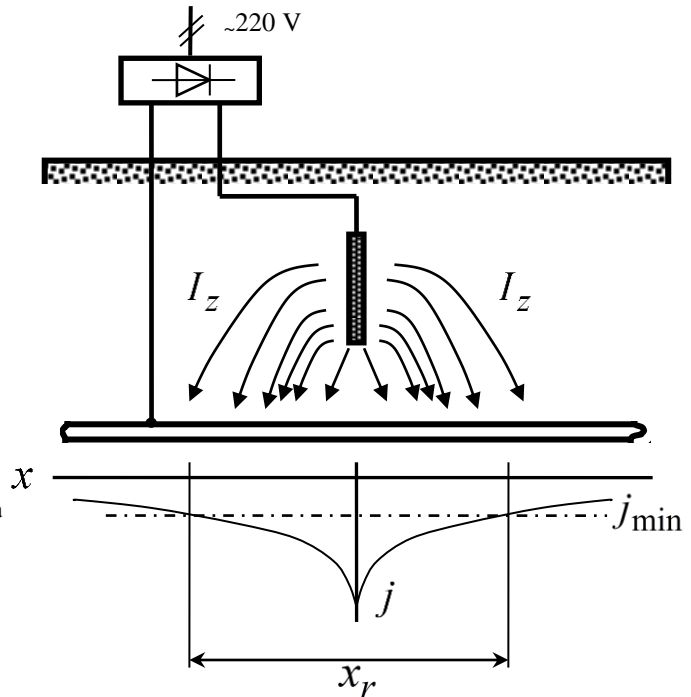


Рис. 3 Межа дії СКЗ

З рисунку 3 видно, що має місце надмірна щільність струму, що натікає на трубопровід, яка також повинна бути обмеженою. Під час розрахунку рекомендована величина щільності визначається як

$$j_{\min} = (3 \dots 5) j_k \quad (1)$$

де j_k - щільність струму корозії, A/m^2 .

Визначення величини щільності струму є достатньо ускладненим. Особливо це стосується підземних металевих трубопроводів. Опосередкованим показником якості захисту є значення потенціалу U , або його зміщення ΔU . Ступінь захисту підземного металевого трубопроводу в залежності від значення катодного зміщення потенціалу визначається як:

$$\Delta U_{zax, \min} = -0.059 \lg \left(\frac{j_k}{j_a} \right) \quad (2)$$

де j_a - максимальна щільність струму захисту, що є припустимою.

Значення мінімального захисного потенціалу дорівнює $U_{z, \min} = -0.85 V$ відносно мідносульфатного електроду порівняння.

Максимальний захисний потенціал визначають виходячи з умов неприпустимості виділення водню на поверхні трубопроводу й водночас, зменшення витрат електричної енергії. Максимальне значення захисного потенціалу для трубопроводів з різним покриттям, що ізолює, дорівнює:

$$U_{zax, \max} = -(2.5 \dots 3.5) V \quad (3)$$

Найбільша небезпека для протикорозійного захисту підземного металевого трубопроводу зумовлюється струмами, що блукають. Головним джерелом цих струмів є залізничний електротранспорт. Безперервні тягові навантаження, значення яких є змінним за часом внаслідок руху потягів змінної завантаже-

ності та профілю колії, призводить до зміни за часом потенціалу рейок відносно почви. Певні ділянки колії мають потенціал, що є змінним за амплітудою вздовж колії, проте не змінює свій знак. Інші ділянки – навпаки, мають змінний за знаком потенціал. Загальна довжина знакозмінних ділянок може сягати половини відстані між підстанціями живлення.

Розглядаючи вплив залізничного електротранспорту на підземні металеві комунікації виконаємо аналіз електричного поля протяжного джерела в безпосередній близькості до нього. Електричне поле, що утворено струмами, які стікають до навколишнього середовища з лінійного трубопроводу розташованого на глибині h від поверхні землі визначається напруженістю [7]:

$$E_x = \frac{1}{4\pi\sigma} \frac{\partial}{\partial x} \int \frac{\partial I(x_0)}{\partial x_0} V(x_0) dx_0 \quad (4)$$

де: $V(x_0) = \frac{e^{-(1+i)\gamma S}}{S} + \frac{e^{-(1+i)\gamma S_1}}{S_1}$; $S = \sqrt{(x-x_0)^2 + r_0^2}$; $S_1 = \sqrt{(x-x_0)^2 + r_1^2}$; $r_0 = \sqrt{y^2 + (z+h)^2}$;

$r_1 = \sqrt{y^2 + (z-h)^2}$; r_0 - радіус провідника (труби трубопроводу); r_1 - відстань до точки вимірювання.

У випадку, коли на певній відстані y від залізничної колії, паралельно ній розташовано трубопровід зі струмами стікання до нього j_p та повним струмом у контактній мережі I_0 , електричне поле в будь якій точці визначається виразом [7]:

$$E_x = -\frac{1}{2\pi\sigma} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-\infty}^{\infty} j_p(\xi) \frac{d\xi}{\sqrt{(x-\xi)^2 + y^2}} - \frac{i\omega\mu}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} I_0(\xi) \left(\frac{1}{\sqrt{(x-\xi)^2 + y^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x-\xi)^2 + y_1^2}} \right) d(\xi) \quad (5)$$

де $y_1^2 = y^2 - \frac{2i}{\gamma^2}$; γ - коефіцієнт, що враховує несиметричність відносно нульового значення кривої зміни у часі величини; y - відстань від рейок до трубопроводу за координатою; x - відстань від рейок до трубопроводу за координатою; x_0 - радіус провідника за координатою; i - струм стікання; $\xi = x - x_0$.

Електричне поле від зовнішніх, по відношенню до трубопроводу, джерел утворює в ньому розподілений струм [7]:

$$I_{roz}(x) = \frac{1}{2\alpha_T R_{per}^T} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha_T|x-t|} E_x(t) dt \quad (6)$$

де $\alpha_T = (1+i)\beta_T$ - стала часу розповсюдження; R_{per}^T - перехідний опір трубопроводу.

Підставивши вираз (5) до виразу (6) отримаємо:

$$I_T(x) = -\frac{1}{4\pi\sigma\alpha_T R_{per}^T} \left(\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha_T|x-t|} dt \frac{\partial}{\partial t} \int_{-\infty}^{\infty} j_p(\xi) \frac{d\xi}{\sqrt{(t-\xi)^2 + y^2}} + i\gamma^2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha_T|x-t|} dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} I_0(\xi) \left(\frac{1}{\sqrt{(t-\xi)^2 + y^2}} - \frac{1}{\sqrt{(t-\xi)^2 + y_1^2}} \right) d\xi \right) \quad (7)$$

Струм I_T в трубопроводі викликає падіння напруги, яка підлягає виміру й є опосередкованою характеристикою корозійного стану. Головними заходами забезпечення протикорозійного захисту в умовах інтенсивного впливу струмів стікання з рейок до трубопроводу є використання електричних дренажів. Під час руху локомотиву виникають досить сильні струми стікання, що утворюють зміщення потенціалу об'єкту, що захищається. Зміни за часом потенціалу підземного металевого трубопроводу який захищається за допомогою земляного дренажу наведені на рис. 4. На основі інформації про величину перехідного опору трубопроводу та виміряний потенціал, можливо отримати значення струмів стікання, які сягають десятків ампер. Слід звернути увагу на наявність позитивного значення сигналу, амплітуда якого дорівнює 10 В. У ці проміжки часу трубопровід виступає в якості аноду, й інтенсивно руйнується. Також,

має місце значна перекомпенсація потенціалу захисту. Відмінне значення дорівнює -10 В., що призводить до інтенсивного виділення водню з поверхні металу й призводить до відслоювання ізоляційного покриття.

Використання в якості організованого відведення струмів системи дренажів, без автоматичного вимірювання значення потенціалу, призводить до погіршення стану протикорозійного захисту. У певні проміжки часу, зважаючи на необхідність забезпечення раціонального використання електричної енергії, що обмежує залучення станцій катодного захисту як активних елементів протикорозійного захисту, більш сприятливим є відключення системи дренажу.

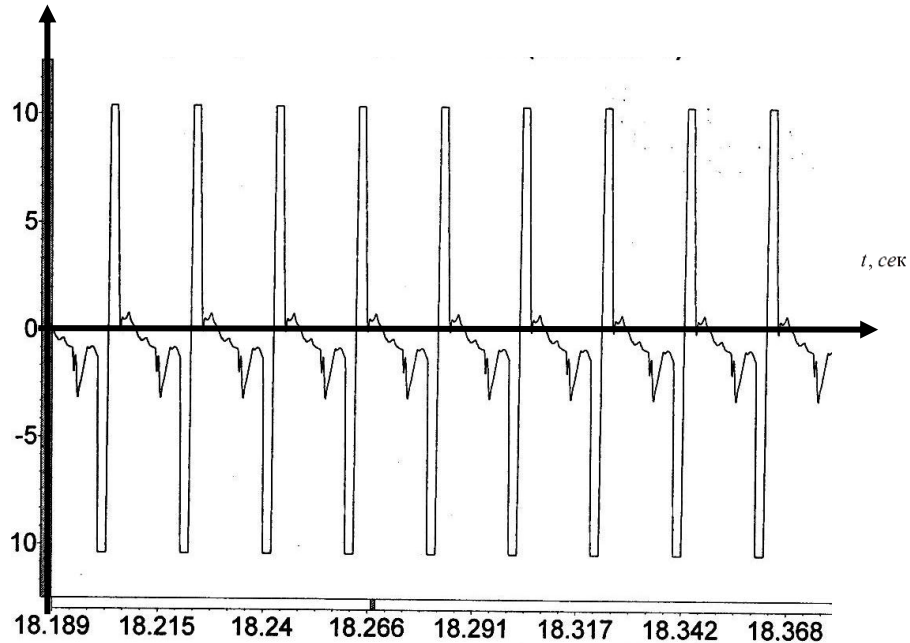


Рис. 4 Зміна за часом потенціалу підземного металевого трубопроводу

Висновки. На основі виразу, що розраховує повний струм у трубопроводі та вимірних значень потенціалу підземного металевих трубопроводів, на якому забезпечено організоване відведення струмів за допомогою земляного дренажу, можливе визначення струмів стікання з трубопроводу до навколишнього середовища. Використання електротехнічної системи захисту підземного металевих трубопроводів від електрохімічної корозії в умовах активного впливу струмів, що блукають, без автоматичної системи контролю потенціалу об'єкту, що підлягає захисту є недоцільним.

Список літератури

1. Джала Р. М. Сучасний стан і проблеми контролю корозії підземних трубопроводів // Проблеми корозії і протикорозійного захисту конструкційних матеріалів: IV Міжнар. конф.-вист."Корозія '98" - Львів: ФМІ НАН України, 1998. – С. 411-414.
2. Вербенець Б. Я. Безконтактний метод і прилади для контролю протикорозійного захисту підземних трубопроводів: дис. кандидата технічних наук: 05.11.13 / Вербенець Богдан Ярославович. – Л., 2011. – 106 с.
3. Джейн Т. Пэйджак Несогласованное применение катодной защиты повышает вероятность повреждений // Нефтегазовые технологии №1 – 2000. – 93с.
4. Бешта О.С. Сумісна робота станцій катодного захисту підземних металевих трубопроводів від електрохімічної корозії / О.С. Бешта, О.О.Азюковський // Проблеми підвищення ефективності електромеханічних перетворювачів в електроенергетичних системах: Матеріали наук.-техн. конф. — Севастополь: Сев. НТУ, 2013. — С. 17-19.
5. Aziukovskyi A. The electrochemical cathodic protection stations of underground metal pipelines in uncoordinated operation mode / A. Aziukovskyi // CRC Press. Balkema is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, London, UK 2013– P. 47 – 55.
6. Склярів С. А. Математические модели и информационные технологии автоматизированного управления системами противокоррозионной защиты магистральных трубопроводов: дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук.: 05.13.06/ Склярів Станіслав Александрович. - Х., 2002 - 168с.
7. Стрижевский И. В. Теория и расчет влияния электрифицированной железной дороги на подземные металлические сооружения./ И.В. Стрижевский, В.И. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1967 – 227с.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Хіловим В.С.