

УДК 620.197.5

Про поляризацію трубопроводу у випадку відшарування ізоляції від його поверхні

В. В. Лукович

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України
03142, Київ, Україна, вул. Кржижановського, 3
E-mail: vvl@ipms.kiev.ua

Проведено розрахунок параметрів катодного захисту двох трубопроводів діаметром 1420 мм у випадку відшарування ізоляції від його поверхні. Поляризаційна густина струму у цьому випадку співпадає з розрахунковою і дорівнює 10^{-4} — 10^{-6} А/м², а поляризаційний потенціал близький до потенціалу корозії. Струм з електропровідного середовища проходить на поверхню металу в основному через пошкодження протикорозійного покриття, яке поступово руйнується. Відбувається наводнення споруди.

Ключові слова: відшарування, захисний потенціал, поляризаційна густина струму.

Вступ

В ПІМ НАН України під керівництвом І. М. Францевича проведено дослідження режиму захисту трубопроводу, на основі яких розроблено рекомендації можливої зміни величини захисного потенціалу F в процесі поляризації [1]. Встановлено інтервал зміни F — $-0,875 \dots -1,3$ В. Недотримання цього інтервалу призводить до відшарування ізоляції від поверхні труби. Результати досліджень використано для захисту газопроводу Дашава—Київ. В Інституті електрозварювання НАН України за допомогою досліджень підтверджено відшарування ізоляції уже за умови поляризаційного потенціалу F нижчому -1 В [2].

На жаль, в практиці захисту проігноровано цими рекомендаціями. Дотримуються інтервалу зміни F $-1 \dots -2,5$ В [3], внаслідок чого на діючих зараз трубопроводах відбулося відшарування ізоляції від поверхні споруди, про яке в свій час попереджав вчений, трапляються аварії з причини стрес-корозії.

Математична модель

В ПІМ НАН України розроблено математичні моделі, алгоритми й програми розрахунку параметрів захисту трубопроводів за результатами проведених на трасі електрометричних вимірювань [4]. За одним з таких

© В. В. Лукович, 2020

результатів, в якому значення захисного потенціалу значно більші за абсолютною величиною від допустимих, виконано розрахунок параметрів в зоні захисту відрізка трубопроводу довжиною 8 км. Діаметр споруди — 1420 мм, товщина стінки — 18 мм. Опір ґрунту змінюється в межах 10—35 Ом·м, відстань до анода — 500 м, відстань від осі труби до поверхні землі — 2 м, величина струму катодної станції — 12,9 А. На рис. 1, *a* зображено графіки зміни F і U_c вздовж споруди довжиною 8 км. Через U_c позначено потенціал трубопроводу відносно нуля землі. Найнижча точка його співпадає з точкою дренажу (609,84 км), з якої струм по кабелю проходить до катодної станції. Від цієї точки U_c зростає до кінців зони захисту. Трубопровід великого діаметра має досить малий опір. Тому різниця між значеннями U_c на кінцях зони і в точці дренажу невелика (0,037 В в лівому кінці зони й 0,07 В — в правому). Захисний потенціал F дорівнює різниці $U_c - U$, де через U позначено потенціал на поверхні землі над трубопроводом.

Більшість значень F близька до U_c , а значення $U = U_c - F$ близьке до нуля. Однак в багатьох окремих точках F віддалений від U_c на десятки долі Вольта (0,384 В в точці 607,7 км; 0,293 В — в точці 609,2 км; 0,372 В — в точці 611,8 км). В цих точках густина струму J (рис. 1, *б*) на 2—4 порядки більша від сусідніх, в яких значення F близьке до U_c . Якщо в більшості точок відрізка труби $J = 10^{-4} - 10^{-6}$ А/м², то в виділених раніше точках відповідно $J = 0,03; 0,014; 0,018$ А/м². Отже, струм з електропровідного середовища проходить на поверхню трубопроводу в основному через пошкодження ізоляції (на рис. 1 вертикальні відрізки). На

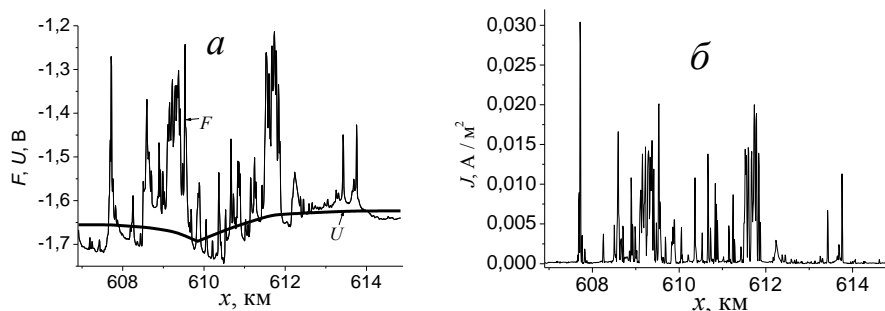


Рис. 1. Зміна потенціалів F , U_c (*a*) і густини струму J (*б*) вздовж трубопроводу довжиною 8 км.

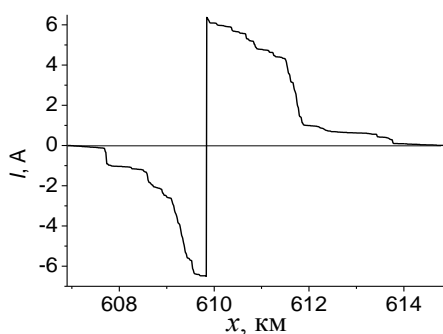


Рис. 2. Зміна величини струму I вздовж трубопроводу.

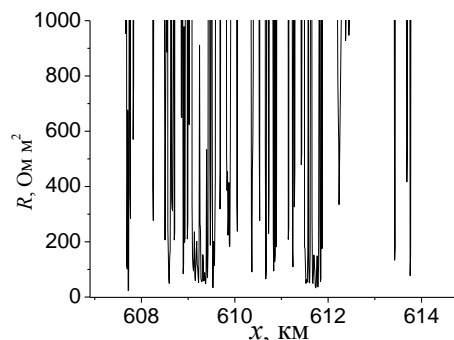


Рис. 3. Зміна опору R на окремих ділянках трубопроводу.

решті поверхні струм проходить спочатку через ізоляцію, потім через плівку рідини, яка заповнила область відшарування. На цих ділянках поверхні величина J має порядок 10^{-5} — 10^{-6} А/м². Переконалися в цьому можна на зміні величини струму, який проходить по поверхні трубопроводу від кінців зони захисту до точки дренажу (рис. 2). На цих кінцях бачимо практично горизонтальні відрізки. Останні переходять в близькі до вертикальних і такі переходи спостерігаємо вздовж всього графіка зміни I . В точці дренажу $I = 12,9$ А.

Наявність великої кількості пошкоджень свідчить про поступове руйнування ізоляції, відділеної від поверхні трубопроводу тонким шаром рідини, яка заповнила область відшарування. За результатами розрахунку переконаємось, що на ділянках ізоляції без пошкоджень опір R досить великий. Однак на окремих ділянках поверхні $R < 100$ Ом·м². На рис. 3 виділено ділянки, в яких $R < 1000$ Ом·м². На рис. 3 видно, що опір покриття в основному досить великий. Це свідчить про те, що даний трубопровід побудовано для ділянки недалеко від трубопроводу з неякісним покриттям і з'єднано з першим технологічними перемичками (інакше не було потреби піднімати до такого рівня величину захисного потенціалу). В результаті такого з'єднання процес відшарування значно збільшився. Крім наводнення металу, спостерігаємо руйнування протикорозійного покриття. На ділянках 609—610 і 611—612 км $R < 100$ Ом·м².

Зупинимось на понятті “поляризаційний потенціал”. За означенням — це різниця потенціалів на межі поверхня трубопроводу—електроліт. Якщо протикорозійне покриття щільно прилягає до металу, то завдяки великому опору трубопроводу струм між ними практично відсутній. Отже, величину поляризаційного потенціалу визначаємо в пошкодженнях. У випадку відшарування електроліт займає практично всю поверхню трубопроводу і струм на нього безпосередньо проходить через електроліт в основному в околі пошкоджень. На всю решту поверхні споруди струм спочатку долає опір протикорозійного покриття. Він значно менший, ніж в околі пошкоджень, а значення поляризаційного потенціалу близькі до потенціалу корозії.

Зауважимо також, що за розрахунками густина струму в пошкодженнях ізоляції виражена відношенням величини струму до площі всієї поверхні відрізка трубопроводу між двома точками вимірювання,

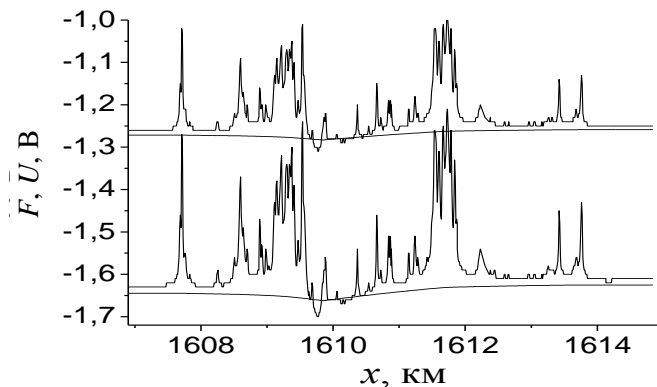


Рис. 4. Зміна потенціалів F, U_c вздовж трубопроводу за умови величини струму 12,9 А (нижні графіки) і 8,5 А (верхні графіки).

а не до площі поверхні пошкодження. Тому поляризаційна густина струму більша від середньої на величину їх відношення (площі відрізка до площі поверхні пошкодження). В області відшарування вона менша за розрахункову, тобто порядку 10^{-5} А/м². За даними катодної поляризаційної кривої, потенціал з таким струмом близький до потенціалу корозії.

Чи була потреба захищати даний відрізок трубопроводу в такому режимі? Адже, за даними вимірювання на рис. 1, а, мінімальний захисний потенціал становить $-1,25$ В (в точці 607,7 км на рис. 1), а прийнятими стандартними даними [3] встановлено значення -1 В. На рис. 4 наведено графіки зміни величин F і U_c , аналогічні рис. 1, а (нижні графіки) і зі зменшенням величини струму анодного заземлення до $8,5$ А (верхні графіки). Мінімум захисний потенціал складає -1 В, максимальний не досягає $-1,3$ В. В режимі роботи без відшарування F змінюється в рекомендованому в роботі [1] інтервалі. В режимі відшарування бажано провести дослідження, чи забезпечується захист зі зменшенням величини струму.

Обчислювальний експеримент

Досить цікавими виявилися результати розрахунку параметрів захисту відрізка трубопроводу довжиною 5 км за даними: діаметр — 1420 мм, товщина стінки — $16,5$ мм, відстань від поверхні землі до осі змінюється від $1,65$ до $1,8$ м, опір ґрунту — 15 — 34 Ом·м², відстань до анодного заземлення — 100 м, величина струму катодної станції — 4 А. Трубопровід працює в режимі відшарування ізоляції від його поверхні. Дані вимірювання захисного потенціалу зображено на рис. 5, а. Відхилення F від уявної монотонної кривої незначні порівняно з рис. 1 або рис. 4. Потенціал U_c (трубопроводу відносно нуля землі) перетинає F вище середини її висоти (на рис. 1 він в нижній частині зміни F). Враховуючи,

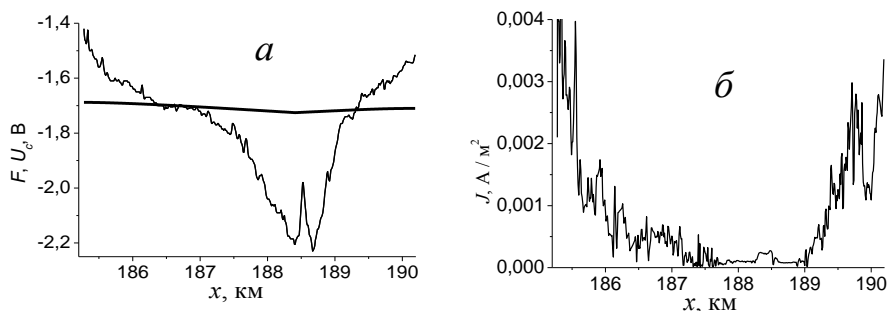


Рис. 5. Зміна потенціалів F , U_c (а) і густини струму J (б) вздовж трубопроводу довжиною 5 км.

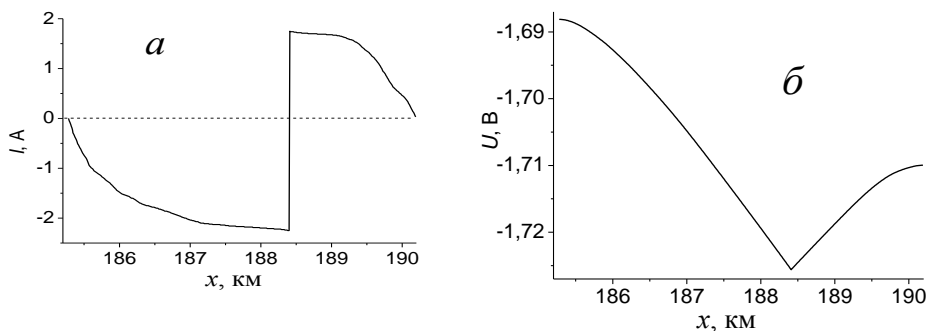


Рис. 6. Зміна величини струму I (а) і потенціалу U_c (б) вздовж трубопроводу.

що $F = U_c - U$, матимемо $U > 0$ в точках, в яких F нижче U_c . Густина струму (рис. 5, б) найбільша на кінцях зони захисту і зменшується з наближенням до середини відрізка. Графік змін величини струму I (рис. 6, а) суттєво відрізняється від аналогічного на рис. 2. Зміну U_c в збільшеному масштабі проілюстровано на рис. 6, б.

За даними розрахунку, порядок зміни поляризаційної густини струму в області відшарування 10^{-3} — 10^{-5} А/м² наведено на рис. 5, б. В цьому проміжку значення поляризаційного потенціалу змінюються від $-0,55$ до $-0,61$ В, за якого забезпечується неповний захист поверхні споруди від корозії [3].

Висновки

В режимі відшарування ізоляції від поверхні трубопроводу його поверхня знаходиться в стані неповного захисту, за якого за наявності агресивного середовища відбувається корозія металу. Підтвердженням такого висновку вважаємо руйнування корозією трубопроводу Середня Азія—Центр уже через 5 років його експлуатації через агресивний ґрунт в районі Каспійського моря. Зі зростанням затрат величини струму для забезпечення захисту споруди від корозії збільшується швидкість руйнування ізоляції, прискорюється процес наводнення металу, який призводить до аварій внаслідок стрес-корозії.

Список літератури

1. Францевич И.Н., Ляшенко М.Е., Гримайловский В.А. Опыт защиты газопровода Дашава—Киев от почвенной коррозии и блуждающих токов. *Защита металлов*. 1968. № 5. С. 597—603.
2. Осадчук С.О., Ниркова Л.І., Рыбаков А.О., Лукович В.В. Дослідження впливу катодної поляризації у 3%-ному розчині NaCl на деструкцію полімерного стрічкового покриття у стендових умовах. *Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении*. Сб. науч. тр. Ин-та пробл. материаловедения НАН Украины. 2014. Вып. 16. С. 13—19.
3. ДСТУ 4219-2003. *Трубопроводы сталеви магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії*. К., 2003. 68 с.
4. Лукович В.В. *Розрахунок параметрів катодного захисту магістрального трубопроводу*. К.: Ін-т пробл. матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України. 2011. 47 с. (Препринт НАН України).

References

1. Frantsevych Y.N., Liashenko M.E., Hrymailovskyi V.A. Opyt zashchyty hazoprovoda Dashava—Kyev ot pochvennoi korroziii bluzhdaiushchykh tokov [Experience in protecting of the Dashava-Kiev gas pipeline from soil corrosion and stray currents]. *Zashchyta metallov*. 1968. No. 5. P. 597—603 [in Russian].
2. Osadchuk S.O., Nyrkova L.I., Rybakov A.O., Lukovych V.V. Doslidzhennia vplyvu katodnoi poliaryzatsii u 3%-nomu rozchyni NaCl na destrukttsiiu polimernoho strichkovoho pokryvu u stendovykh umovakh [Study of the effect of cathodic polarization in 3% NaCl solution on the destruction of polymer tape coating under bench conditions]. *Matematicheskie modeli i vychislitelnyi eksperiment v materyalovedenii*. Sb. науч. tr. In-ta probl. materyalovedeniya NAN Ukrainy. 2014. Issue 16. P. 13—19 [in Ukrainian].
3. DSTU 4219-2003 *Truboprovody stalevi mahistralni. Zahalni vymohy do zakhystu vid korozii* [Steel main pipelines. General requirements for corrosion protection]. Kyiv, 2003. 68 p. [in Ukrainian].

4. Lukovych V.V. *Rozrakhunok parametriv katodnoho zakhystu mahistralnoho truboprovodu* [Calculation of cathodic protection parameters of the main pipeline]. Preprint of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv: In-t probl. materialoznavstva im. I. M. Frantsevycha NAN Ukrainy. 2011. 47 p. (Preprint NAN Ukrainy) [in Ukrainian].

On the pipeline polarization in the case of insulation delamination from its surface

V. V. Lukovych

The cathodic protection parameters for two pipelines with a diameter of 1420 mm were calculated. The protection zone for the first pipeline is 6 km long and for the second one it is 5 km. The cathode station current is 12,9 A for the first pipeline and 4 A for the second one. There are a damage and detachment of pipeline insulation, and consequently a thin layer of electrolyte is located in the detachment area between the metal surface and the insulation. Almost the entire surface of the pipeline has polarization potential. For the first pipeline, the values of the protection potential at neighboring measurement points change quite dramatically, the difference between them can reach tenths of a volt. The polarization current density at the ends of the protection zone is quite small, and accordingly the polarization potential is close to the corrosion potential. But in the vicinity of the drainage point, these values are much larger. The situation is almost the opposite for the second pipeline, where the cathode station current is 4 A. The current density is almost equally distributed throughout the protection zone, slightly larger at its ends. The polarization potential changes accordingly. Its values are larger than the first case. In the cathodic protection, the potential of the pipeline relative to ground zero is important. Its average value depends on the magnitude of the cathode station current. Its graph intersects the lower part of the protection potential graph in the first case and the middle of the graph in the second. The protection potential is the difference between the potential of the pipeline and the earth surface. In the first case, in the vicinity of the drainage point this difference is much larger inside compared to the ends of the zone. As a conclusion, in the practice of cathodic protection it is important to regulate the value of the cathode station current in order to achieve the optimum protection.

Keywords: *delamination, protection potential, polarization current density.*