

Олександр АРХИПОВ, Дмитро УСОВ, Ольга ЛЮБИМОВА-ЗИНЧЕНКО

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ДЕГРАДАЦІЯ МЕТАЛУ ГАЗОПРОВІДІВ І ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АНОДІВ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ

*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
пр. Центральний, 59А, м. Сєвєродонецьк, Луганська обл., 93406
тел./факс: (06452) 4-03-42, e-mail: uni.snu.edu@gmail.com*

Oleksandr ARKHYPov, Dmytro USOV, Olga LIUBYMova-ZINCHENKO

OPERATING DEGRADATION OF METAL OF GAS PIPELINES INCREASE OF EFFICIENCY OF WORK OF ANODES OF CATHODE DEFENCE

*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University
59A, Central avenue, Severodonesk, Lugansk region, 93406
tel/fax(06452) 4-03-42, e-mail: uni.snu.edu@gmail.com*

ABSTRACT

The gas pipeline pipes from Steel 20 Du273 with a wall thickness of 8 mm have been studied. The pipes of the same brand of steel Du159 with a wall thickness of 6 mm are used for manufacture of anodes. Previously, anodes had been used for 20 years in the gas pipeline, and then they were cut into sections of 20 meters in length. The structural changes of the metal of pipes of the gas pipeline, the degree of flooding of its individual sections depending on the distance to the drainage point have been analyzed as well as the electrochemical characteristics have been determined. To activate the work of anode ground beds, salts of chemically active substances were used, which led to decrease in electrical resistance in the anode-ground system. The results of structural changes in metal of the pipes allowed to determine the trends of operational degradation of metal and to identify ways for further research in order to extend the operational life of the pipelines.

KEY WORDS: *operating degradation, flood, cathode defence, corrosion of metal.*

ВСТУП

Для захисту газопроводів використовують активні, пасивні і комбіновані способи захисту. Пасивний захист реалізується у вигляді нанесення різноманітних ізолюючих покриттів. Найпоширенішим варіантом комбінованого способу є використання катодного захисту в сукупності з нанесенням ізолюючого покриття. Ефективність захисту суттєво залежить від багатьох факторів: складу ґрунту, відстані від точки дренажу катодної станції, пори року, рівня ґрунтових вод тощо. Крім того, дієвість катодного захисту суттєво залежить від стану нанесеного ізолюючого покриття.

Під час тривалої експлуатації труби мають місце навантаження у вигляді внутрішнього тиску, власної ваги, нерівномірного впливу ґрунту. Коливання температур і тиску накладаються на статичні навантаження, а в сукупності з дією агресивного середовища і можливим наводнюванням металу з часом це призводить до експлуатаційної об'ємної деградації [1–4]. Враховуючи важливість трубопровідного транспорту для економіки держави, задача підтримання його в належному стані є однією з пріоритетних. Дослідження змін, що відбуваються із металом трубопроводів за час тривалої експлуатації з врахуванням віддаленості від катодної станції, та активізація роботи анодів є предметом даної роботи. Врахування деградаційних процесів підвищує безпеку експлуатації і дає можливість більш оптимально планувати ремонтні роботи.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Предметом досліджень були труби газопроводу Ду273, виготовлені зі сталі 20. В експлуатації досліджувана ділянка газопроводу знаходилась 51 рік. За цей час газопроводом транспортувався природний газ під середнім тиском 30 kg/cm^2 . Як відомо, захисний потенціал певної ділянки трубопроводу, що накладається катодною станцією, суттєво залежить від складу ґрунту, відстані ділянки труби від точки дренажу катодної станції, стану ізоляційного покриття, електричного опору системи анод–ґрунт тощо [5]. Величина потенціалу протягом року може змінюватися внаслідок дії зовнішніх чинників. Для досліджень вибрали фрагменти трубопроводу, що знаходились під захистом тієї ж самої катодної станції, але на різній відстані від її точки дренажу. Були здійснені металографічні дослідження, визначений ступінь наводнювання металу.

Крім того, досліджували зміни електричного опору системи анод–ґрунт на анодах, робота яких була поліпшена використанням хімічно активних речовин. Ці речовини були закладені в спеціальній упаковці приблизно рік тому на глибину біля двох метрів. Для закладки застосовували різні за хімічним складом продукти: аміачна селітра, NaCl, і суміш ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ - 32,4\%$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - 19,2\%$, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта – CO_3^{2-}) [6]. Анодні заземлювачі виготовлені з труб, які спочатку біля 20 років були в експлуатації у складі трубопроводу. Вони виготовлені з труби Ду159, матеріал – сталь 20, довжиною 20 м, закладання вертикальне. Температура експлуатації анодних заземлювачів знаходилась в інтервалі від $+45^\circ$ до -40°C . За час експлуатації на аноди подавали напругу в діапазоні 5...95 V.

Опір ґрунту вимірювали приладом Ф4103-М1. Електрохімічні характеристики знімали за допомогою потенціостата ПИ-1.

Для дослідження вмісту водню у металі труб застосовували спеціально розроблену в Фізико-механічному інституті ім. Г.В.Карпенка НАН України установку. Спочатку визначали частку низькоенергетичного водню, що виділився із металу за температури 200°C , а потім – високоенергетичного за температури 800°C . Сумарну кількість водню визначали як суму складових. Для кожної ділянки трубопроводу досліджували по 3 зразки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Практика експлуатації станцій катодного захисту довела, що однією із проблем, які виникають з часом, є поступове збільшення електричного опору між анодним заземлювачем і ґрунтом. Проведені дослідження стану металу анодів не виявили значних корозійних пошкоджень зовнішньої і внутрішньої поверхонь. Наприклад, за 20 років експлуатації труби в якості анодного заземлювача глибина корозії ззовні складала до 1 mm, а на внутрішній поверхні до 0,7 mm. Таким чином, анодні заземлювачі за своїм фізичним станом могли б і далі експлуатуватися як аноди у складі станцій катодного захисту. Але заміри електричного опору між ґрунтом і анодними заземлювачами показали його зростання у 10–20 разів.

Отже, експлуатуючі організації вимушені періодично закладати додаткові анодні заземлювачі, які працюють паралельно з уже існуючими. Такі операції досить трудомісткі і потребують проведення певних попередніх організаційних заходів; буріння технологічних свердловин під глибинні анодні заземлювачі або копки котлованів під закладання підповерхневих анодів; транспортування великої кількості матеріалів (коксового дріб'язку, кабельних з'єднуючих ліній тощо); перевезення персоналу для ремонту анодних заземлювачів; використання землерийної техніки для закладання з'єднувальних кабельних ліній тощо.

Враховуючи задовільний стан металу анодів, було запропоновано замість установки нових заземлювачів поліпшити роботу вже діючих [6]. Для цього необхідно порушувати електричні бар'єри в системі анод–кокова засипка–ґрунт, інтенсифікуючи корозійні процеси на аноді. Для досягнення поставленої мети біля анодів розташовували хімічно активні речовини. Вони були запаковані в мішки з бейтінгу або поліпропілену і закопані на глибину більшу за величину промерзання ґрунту у даній місцевості ($\geq 2 \text{ m}$). З метою забезпечення поступового розчинення всі солі (донори іонів) мали вигляд гранул. Розчинення відбувалось за рахунок сезонних коливань ґрунтових вод і опадів, а в літній період разово здійснювали технологічне обслуговування шляхом заливки анодів технічною водою.

Дослідження електричного опору ґрунту і системи анод–ґрунт показали ефективність використання хімічно активних речовин для зменшення опору в системі анод–ґрунт (табл. 1).

Таблиця 1. Заміри електричного опору ґрунту і системи анод–ґрунт
 Table 1. Measurements of electrical resistance of the ground and the anode–ground system

№ п/п	На момент закладки		Через 7 місяців		Через 9 місяців		Через 10 місяців *		Через 10 місяців після заливки водою **	
	R _{гр.,} Ohm	R _{а.з.,} Ohm	R _{гр.,} Ohm	R _{а.з.,} Ohm	R _{гр.,} Ohm	R _{а.з.,} Ohm	R _{гр.,} Ohm	R _{а.з.,} Ohm	R _{гр.,} Ohm	R _{а.з.,} Ohm
1	40	9	48	12	43	11	48/38	11/4,5	23	4
1'	28	22	31,5	14	35	13	31,5/22	13/6,4	24	8
2	41	40	50	22,5	48	21	50/42	40/2,5	23	5
2'	32	20	42,2	11,8	35	12	42,2/29	12/6	22	2
3	30	8,8	30	4,5	36	16	30/20	16/6	24	2
3'	28	7	40	7	51	6	40/25	8/5	22	12

1,1' – NaCl; 2,2' – селітра; 3,3' – Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта – CO₃²⁻;

*в чисельнику – дані до заливки водою, в знаменнику – по заливанню водою в той же день;

**через 10 місяців і 2 тижні після заливання водою;

R_{гр.,} – електричний опір ґрунту;

R_{а.з.} – електричний опір системи анод–ґрунт.

Слід зауважити, що опір ґрунту і системи анод–ґрунт залежить від пори року, кількості опадів і рівня ґрунтових вод. Тому важливо оцінювати величину опору цієї системи з урахуванням величини опору ґрунту на момент відповідного заміру. Встановлено, що за час експлуатації упродовж року найліпші результати отримано на анодах, біля яких використовували закладки з аміачною селітрою і NaCl. Навіть за зростання електричного опору ґрунту, в системі анод–ґрунт опір зменшено, або він залишався приблизно на тому ж рівні. Використання суміші (Na⁺ + K⁺ – 32,4%, Ca²⁺ + Mg²⁺ – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта – CO₃²⁻) в цілому показали ефективність її застосування, але результати поки що менш очевидні. Слід відзначити, що ці дослідження розраховані на більш тривалий час, тому остаточні висновки будуть зроблені пізніше з урахуванням швидкості корозії анодних заземлювачів.

Металографічні дослідження виконували для металу труб газопроводу у стані поставки (0), зразки вирізали з газопроводів на відстані 0,5 km від катодної станції (1), на відстані 8 km (2) і 15 km (3). На момент поставки метал труб мав ферито-перлітну мікроструктуру, за шкалою 7 ГОСТ8233 вміст перліт/ферит відповідав співвідношенню 35:65. За час експлуатації відбулось розкладання перліту і для всіх зразків, незалежно від відстані, співвідношення перліт:ферит вже відповідало 20:80, що свідчить про суттєві деградаційні процеси в металі труб. На момент поставки розмір зерна металу відповідав 9...10 балам за ГОСТ5639. Після тривалої експлуатації у зразків із ділянок 1 і 3 він змінився до 6...7 балів, а у зразків з ділянки 2 – до 8...9 балів. У всіх металів після тривалої експлуатації на границях феритних зерен з'явилися поодинокі прошарки цементиту, у зразків із ділянок 2 і 3 зафіксовані дисперсні карбіди біля границь зерен, у зразків із ділянок 3 утворилися дисперсні карбіди по фериту. Корозійні пошкодження внутрішньої поверхні по тривалій експлуатації приблизно однакові на всіх ділянках і знаходяться в інтервалі значень 0,20 – 0,25 mm. На зовнішній поверхні глибина виразкової корозії для зразків 1, 2 і 3 відповідно складала до 2; 0,4; і 0,7 mm.

В цілому металографічні дослідження довели, що за час експлуатації структура металу значно змінилася, що проявилось у зміні розміру зерна, розкладанні перліту, утворенні карбідів по фериту і біля границі зерен. Результати досліджень вмісту водню наведені в табл. 2.

Встановлено, що для ділянок 1 і 3 вміст водню знаходився у тому ж інтервалі значень, що і для металу в стані поставки. Для ділянки 2 сумарний вміст водню становив 0,4842...3,5797 cm³/100 g (0,4361...3,225 ppm), що є в межах допустимого для даної сталі, але значно більше, ніж на інших досліджених ділянках.

Таблиця 2. Результати досліджень вмісту водню
Table 2. Results of studies of hydrogen content

№	Н/п	m_z, g	$C_{H_2}^{200}, cm^3/100 g Me$	$C_{H_2}^{800}, cm^3/100 g Me$	$\Sigma C_{H_2}, cm^3/100 g Me$
0	1	7,1841	0,0432	0,0623	0,1055
	2	7,1156	0,0343	0,0479	0,0822
	3	7,1952	0,1349	0,0884	0,2233
1	1	7,4592	0,0954	0,0205	0,1159
	2	6,4411	0,0339	0,0167	0,0506
	3	7,0917	0,0996	0,0481	0,1477
2	1	7,0983	0,3894	3,1903	3,5797
	2	7,0945	0,3645	1,0077	1,3722
	3	7,9985	0,0153	0,4689	0,4842
3	1	7,9223	0,2553	0,6902	0,9455
	2	7,2946	0,2354	0,4159	0,6513
	3	7,7534	0,0341	0,6751	0,7092

Результати дослідження механічних характеристик труби запасу (0) і зразків, вирізаних із труб на ділянках 1, 2, 3, подані в табл. 3.

Таблиця 3. Результати досліджень механічних характеристик труби запасу і зразків, вирізаних із труб на ділянках 1, 2, 3

Table 3. Results of studies of the mechanical characteristics of the reserve pipe and samples taken from the pipes in sections 1, 2, 3

№ ділянки/зразка	σ_B МПа	$\Psi, \%$	$\Delta, \%$	KCU $10^5, J/m^2$	НВ	
0	1	484	73,0	31,3	23,52	143
	2	453	65,0	30,0	23,52	143
1	1	484	63,0	23,3	19,6	143
	2	492	63,0	22,0	22,54	143
2	1	475	59,0	33,0	18,62	143
	2	490	59,0	33,0	20,77	143
3	1	470	65,0	33,0	16,27	137
	2	470	66,0	30,0	14,7	137
Сталь 20 ГОСТ 550-75	≥ 431	≥ 50	≥ 22	$\geq 7,64$	≤ 150	

Аналіз даних показав, що за час експлуатації механічні характеристики знаходилися в інтервалі допустимих значень. Деяко відрізнялися від решти значення ударної в'язкості металу зразки ділянки 3. Це пояснюється більшими змінами структури металу, а саме утворенням дисперсних карбідів не лише на границі зерен, а і по фериту. На думку групи авторитетних дослідників, саме ударна в'язкість є найбільш чутливою характеристикою до деградації сталей, і це може свідчити про початок змін не лише структури, а й механічних характеристик. Але поки ці показники не виходять за межі допустимих.

Результати досліджень електрохімічних характеристик наведені в табл. 4.

Дослідження електрохімічних характеристик, довело що струм корозії суттєво залежить від відстані від точки дренажу. Як відомо [7], використавши електрохімічні характеристики, можна швидше почати відстежувати зародження і протікання деградаційних процесів у металі. Коли зміни структури довели наявність деградаційних процесів, зміни механічних характе-

тик, а саме КСУ і в окремих випадках характеристики пластичності, показали напрямок таких тенденцій (зміцнення чи розміцнення металу), то електрохімічні характеристики дають змогу більш детально проаналізувати залежність ступеня деградації від накладеного захисного потенціалу.

Таблиця 4. Результати досліджень електрохімічних характеристик
Table 4. Results of studies of electrochemical characteristics

№ ділянки	$E_{роб.}, V$	$i_{кор.}, A/cm^2 \cdot 10^4$	$E_{кор.}, V$
0	-	0,79	-0,59
1	-2,4	0,56	-0,615
2	-0,68	1,25	-0,6
3	-0,6	0,99	-0,6

ВИСНОВКИ

Здійснені дослідження дали можливість встановити структурні зміни, що відбулися із металом труб після тривалої експлуатації. Встановлено, що в металі відбулось суттєве зменшення перліту і утворення карбідів на границях зерен на всіх ділянках, а на ділянці 3 карбіди зафіксовані і в фериті.

Вміст водню у всіх досліджених випадках знаходився в межах норми, але у зразків із ділянки 2 він значно більший, ніж на сусідніх ділянках. Можливо, це зумовлено установкою труб з іншої партії поставки, а, можливо, менш ефективним катодним захистом на цій ділянці, на що треба звернути увагу.

Механічні характеристики труб на всіх ділянках знаходилися в межах норми, але у зразків із 3 ділянки ударна в'язкість найменша. Це пояснюється серйознішими змінами структури металу.

За період проведених досліджень активація роботи анодних заземлювачів хімічно активними речовинами показала ефективність запропонованого підходу. Роботу в цьому напрямку необхідно продовжити на триваліший термін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Изменение структуры и свойств трубной стали во время длительных выдержек под нагрузкой / С.И. Ильин, М.А. Смирнов, Ю.И. Пашков [и др.] // Известия Челябинского научного центра. – 2002. – № 4. – С. 42–46.
2. Nykyforchyn H.M., Kurzydowski K.-J., Lunarska E. Hydrogen degradation of steels in long term service conditions / in Book: Environment-induced cracking of materials, vol. 2 “Prediction, industrial developments and evaluations”, ed. by S. Shipilov, Elsevier, 2008. – P. 349–361.
3. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline / H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyrunyk, et al. // Engineering Failure Analysis. – 2010. – V. 17. – P. 624–632.
4. Деградація сталей в агресивних середовищах, залишковий ресурс обладнання і корозійний моніторинг / О. Г. Архипов, В. А. Борисенко, М. С. Хома, О. В. Любімова-Зінченко // Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2016. – 204 с.
5. Защита от коррозии подземных сооружений и промышленных предприятий / Б.Г. Дубровский, С. А. Волотковский, В. Я. Заблудовский // - Киев: Техника, 1979 – 240 с.
6. Архипов О.Г. Підвищення ефективності роботи анодних заземлювачів шляхом подання електрохімічних бар'єрів / О.Г. Архипов, Д.І. Усов, Л.В. Карпюк, Н.І. Галабурда // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2017. – № 5 (235). – С. 30–33.
7. Похмурський В.І., Хома М.С. Корозійна втома металів і сплавів. – Львів: Сполом, 2008. – 300 с.