

УДК 620.193

**ДЕГРАДАЦІЯ МЕТАЛУ ГАЗОПРОВІДІВ В УМОВАХ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ****Архипов О. Г., Усов Д. І., Карпюк Л. В., Галабурда Н. І.****DEGRADATION OF THE METAL OF GAS PIPELINES UNDER CATHODIC PROTECTION CONDITIONS****Arhypov O. G., Usov D. I., Karpyuk L. V., Galaburda N. I.**

*Проаналізовано структурні зміни металу труб газопроводу і ступінь наводнювання окремих його ділянок. Труби, що знаходилися в експлуатації тривалий час, були виготовлені зі сталі Сталь 20. Для досліджень обрано труби Ду273 з товщиною стінки 8 мм. Для виготовлення анодів використовувалися труби Ду159 з товщиною стінки 6 мм після 20 років експлуатації в складі газопроводу, а потім порізані на ділянки довжиною 20 метрів. Для активації роботи анодів використовувалися хімічно активні речовини, що викликало зменшення опору в системі анод-грунт. Результати структурних змін металу труб дозволили визначити тенденції деградації металу та намітити шляхи для подальших досліджень з метою подовження їх експлуатаційного ресурсу.*

**Ключові слова:** деградація, опір ґрунту, корозія, наводнювання металу

**Вступ.** Значна кількість газо- і нафтопроводів в Україні знаходиться в експлуатації тривалий час. Відомо, за тривалої дії агресивного середовища можуть відбуватися структурні зміни металу, що обумовлює погіршення механічних і інших характеристик металу [1-3]. Силоне навантаження на труби у вигляді внутрішнього тиску, власної ваги, нерівномірного навантаження ґрунту, температурних коливань прискорюють цей процес, а можливе наводнювання веде з часом до експлуатаційної об'ємної деградації металу. Враховуючи розгалуженість трубопроводної системи, значущість трубопроводного транспорту для економіки, безпека її експлуатації є пріоритетною задачею. Однією з загроз для трубопроводів є корозія металу. Для захисту від корозії використовуються пасивні і активні методи захисту. Пасивний захист реалізується у вигляді нанесення різноманітних ізолюючих покриттів. Катодний захист є одним з найбільш поширених методів активного захисту. Але ступінь захисту суттєво залежить від багатьох факторів: складу ґрунту, відстані від точки дренажу катодної станції, пори року, рівня ґрунтових вод тощо. Дослідження змін, що відбуваються з металом трубопроводів за час тривалої експлуатації з врахуванням віддаленості від катодної станції, є предметом даної роботи. Врахування деградаційних процесів підвищує безпеку експлуатації і дозволяє більш оптимально планувати ремонтні роботи.

плуатації з врахуванням віддаленості від катодної станції, є предметом даної роботи. Врахування деградаційних процесів підвищує безпеку експлуатації і дозволяє більш оптимально планувати ремонтні роботи.

**Викладення основного матеріалу.** Предметом досліджень були труби газопроводу Ду273, виготовлені зі сталі Сталь 20. В експлуатації досліджувана ділянка газопроводу знаходилась 51 рік. За цей час газопроводом транспортувався природний газ з середнім тиском 30 кг/см<sup>2</sup>. Як відомо, захисний потенціал певної ділянки трубопроводу, що накладається катодною станцією, суттєво залежить від таких факторів, як склад ґрунту, відстані ділянки труби від точки дренажу катодної станції, стану ізоляційного покриття, електричного опору системи анод-грунт тощо. Величина потенціалу протягом року може змінюватися внаслідок дії зовнішніх чинників. Для досліджень були вибрані фрагменти трубопроводу, що знаходились під захистом тієї ж самої катодної станції, але на різній відстані від неї. Були проведені металографічні дослідження, визначені величини наводнювання металу.

Крім того, досліджувались зміни електричного опору системи анод-грунт на анодах, робота яких була поліпшена використанням хімічно активних речовин. Ці речовини були закладені в спеціальній упаковці близько року назад на глибину приблизно двох метрів, для закладки були використані різні за хімічним складом продукти: аміачна селітра, NaCl, і суміш (Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) [4]. Анодні заземлювачі виготовлені зі сталевих труб Ду159, термін експлуатації в складі трубопроводу більш, ніж 20 років, довжина кожного анода 20 метрів, закладання вертикальне. Температура, за якої експлуатувалися анодні заземлювачі, знаходилась в інтервалі від +45° до -40°С. За час експлуатації на аноди подавалась напруга в діапазоні (5÷95)V.

Металографічні дослідження проводились за допомогою мікроскопу .

Вимір опору ґрунту проводився за допомогою приладу Ф4103-М1.

Для дослідження вмісту водню в металі труб використовувалась спеціально розроблена в Фізико-механічному інституті ім. В. Г. Карпенка НАН України установка. Спочатку визначалась частка низько енергетичного водню, що виділився з металу за температури 200°C, а потім високо енергетичного за температури 800°C. Сумарна кількість водню визначалась як сума складових. Для кожної ділянки трубопроводу досліджувалось 3 зразки.

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

Таблиця 1

## Заміри опору ґрунту і системи анод-ґрунт

№ п/п	На момент закладки		Через 7 місяців		Через 9 місяців		Через 10 місяців *		Через 10 місяців після заливки водою **	
	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом	Rгр, Ом	Ра.з., Ом
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  $\text{CO}_3^{2-}$ ;

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

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

Rгр – опір ґрунту;

Ра.з. – опір системи анод - ґрунт.

Слід зауважити, що опір ґрунту і системи анод-ґрунт залежить від пори року, кількості опадів та рівня ґрунтових вод. Тому важливо оцінювати величину опору системи анод-ґрунт з урахуванням величини опору ґрунту на момент проведення відповідного заміру. Установлено, що за час експлуатації протягом року найкращі результати отримано на анодах, біля яких використовувалися закладки з аміачною селітрою і NaCl. Навіть за зростання опору ґрунту, в системі анод-ґрунт опір зменшено або він залишався на тому ж рівні. Використання суміші (Na + K – 32,4%, Ca + Mg – 19,2%, амоній – 8,4%, хлориди – 17,8%, решта  $\text{CO}_3^{2-}$ ) в цілому показали ефективність її застосування, але результати поки менш очевидні. Треба відзначити, що ці дослідження розраховані на більш тривалий час, тому остаточні висновки будуть зроблені пізніше з урахуванням швидкості корозії анодних заземлювачів.

Металографічні дослідження труби газопроводу Ду273 проводились для металу в стані поставки (0), також зразки вирізались з труб на відстані 0,5 км від катодної станції (1), на відстані 8 км (2) і на відстані 15 км (3). На момент поставки метал труб мав ферито-перлітну мікроструктуру, за шкалою 7

ГОСТ 8233 зміст перліт/ферит відповідав співвідношенню 35/65. За час експлуатації відбулось розкладання перліту і для всіх зразків незалежно від відстані співвідношення перліт/ферит стало відповідати 20/80, що свідчить про суттєві деградаційні процеси в металі труб. На момент поставки розмір зерна металу відповідав 9-10 балам за ГОСТ 5639. Після тривалої експлуатації у зразків з ділянок 1 і 3 він змінився до 6-7 балів, а у зразків з ділянки 2 - до 8-9 балів. У всіх металів по тривалій експлуатації відзначаються на границях феритних зерен поодинокі прошарки цементиту, у зразків з ділянок 2 і 3 зафіксовані дисперсні карбіди біля границь зерен, у зразків з ділянок 3 утворилися дисперсні карбіди по фериту. Мікроструктуру металу зразків ділянок 1, 2 і 3 представлено на рисунках 1, 2, і 3 відповідно.



Рис. 1. Мікроструктура металу на відстані 0,5 км, ×1000

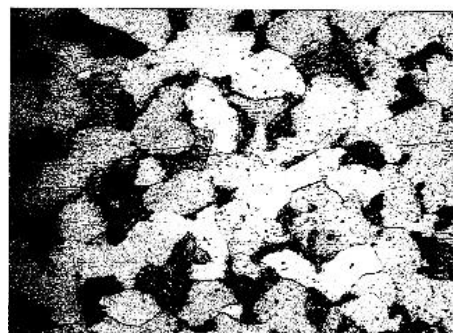


Рис. 2. Мікроструктура металу на відстані 8 км, ×1000



Рис. 3. Мікроструктура металу на відстані 15 км, ×1000

Таблиця 2

Результати досліджень вмісту водню

№	н/п	m <sub>z</sub> , г	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>200</sup> , см <sup>3</sup>	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>800</sup> , см <sup>3</sup>	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>200</sup> , см <sup>3</sup> /100г Ме	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>800</sup> , см <sup>3</sup> /100г Ме	ΣC <sub>H<sub>2</sub></sub> , см <sup>3</sup> /100г Ме	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>200</sup> , ppm	C <sub>H<sub>2</sub></sub> <sup>800</sup> , ppm	ΣC <sub>H<sub>2</sub></sub> , ppm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	7,1841	0,0031	0,0045	0,0432	0,0623	0,1055	0,0389	0,0562	0,0951
	2	7,1156	0,0024	0,0034	0,0343	0,0479	0,0822	0,0309	0,0432	0,0741
	3	7,1952	0,0097	0,0064	0,1349	0,0884	0,2233	0,1215	0,0796	0,2011
1	1	7,4592	0,0071	0,0015	0,0954	0,0205	0,1159	0,0859	0,0185	0,1044
	2	6,4411	0,0022	0,0011	0,0339	0,0167	0,0506	0,0306	0,0150	0,0456
	3	7,0917	0,0071	0,0034	0,0996	0,0481	0,1477	0,0897	0,0434	0,1331
2	1	7,0983	0,0276	0,2265	0,3894	3,1903	3,5797	0,3508	2,8742	3,225
	2	7,0945	0,0259	0,0715	0,3645	1,0077	1,3722	0,3284	0,9079	1,2363
	3	7,9985	0,0012	0,0375	0,0153	0,4689	0,4842	0,0137	0,4224	0,4361
3	1	7,9223	0,0202	0,0547	0,2553	0,6902	0,9455	0,2299	0,6218	0,8517
	2	7,2946	0,0172	0,0303	0,2354	0,4159	0,6513	0,2121	0,3747	0,5868
	3	7,7534	0,0026	0,0523	0,0341	0,6751	0,7092	0,0307	0,6082	0,6389

Корозійні пошкодження внутрішньої поверхні по тривалій експлуатації приблизно однакові на всіх ділянках і знаходяться в інтервалі значень 0,2 – 0,25 мм. На зовнішній поверхні глибини виразкової корозії для зразків 1, 2 і 3 відповідно склали до 2мм, 0,4 мм і 0,7 мм.

В цілому металографічні дослідження довели, що за час експлуатації зі структурою металу відбулись значні зміни, що проявилось в зміні розміру зерна, розкладанні перліту, утворенні карбідів по фериту і біля границі зерен. Результати досліджень вмісту водню наведені в таблиці 2.

Встановлено, що для ділянок 1 і 3 вміст водню знаходиться в тому ж інтервалі значень, що і для металу в стані поставки. Для ділянки 2 сумарний вміст водню знаходиться в інтервалі значень 0,4842 – 3,5797 см<sup>3</sup>/100 г (0,4361 - 3,225 ppm), що знаходиться в межах допустимого для даної сталі, але значно більше, ніж на інших досліджених ділянках.

Результати дослідження механічних характеристик труби запасу і зразків, вирізаних з труб на ділянках 1, 2, 3, надані в таблиці 3.

Аналіз даних показує, що за час експлуатації механічні характеристики знаходяться в інтервалі допустимих значень. Дещо відрізняються від решти значення ударної в'язкості металу з ділянки 3. Можливо, це пояснюється більшими змінами структури металу, а саме утворенням дисперсних карбідів не лише на границі зерен, а і по фериту. На думку де-

яких авторів, саме ударна в'язкість є найбільш чутливою характеристикою до деградації сталей і це може свідчити про початок змін не лише структури, а вже і механічних характеристик. Але поки ці показники не виходять за межі допустимих.

Таблиця 3

Результати дослідження механічних характеристик труби запасу і зразків, вирізаних з труб

№ ділянки/зразка	σ <sub>в</sub> МПа	ψ %	δ %	к <sub>сц</sub> 10 <sup>5</sup> Дж/м <sup>2</sup>	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
Ст20 ГОСТ 550-75	≥431	≥50	≥22	≥7,64	≤150	

**Висновки.** Проведені дослідження дозволили установити структурні зміни, що відбулися з металом труб по тривалій експлуатації. Установлено, 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 з ділянки 2 він значно більший, ніж на сусідніх ділянках. Можливо,

це обумовлено 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 знаходяться в межах норми, але у зразків з 3 ділянки ударна в'язкість найменша. Можливо, це пояснюється більш серйозними змінами структури металу.

За період проведених досліджень активізація роботи анодних заземлювачів хімічно активними речовинами показала ефективність запропонованого методу. Роботу в цьому напрямку необхідно продовжити на більш тривалий термін.

#### Література

1. Ильин С. И. 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. Tsyrylunyk, et al. // Engineering Failure Analysis. – 2010. – V. 17. – P. 624–632.
4. 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 СХУ ім. В. Даля. – 2017. - №5 (235). –С. 30-33.

#### References

1. Il'in S. I. Izmenenie struktury i svojstv trubnoj stali vo vremja dlitel'nyh vyderzhek pod nagruzkoy / S. I. Il'in, M. A. Smirnov, Ju. I. Pashkov [i dr.] // Izvestija Cheljabinskogo nauchnogo centra. 2002. – № 4. – S. 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. Tsyrylunyk, et al. // Engineering Failure Analysis. – 2010. – V. 17. – P. 624–632.
4. Arhipov O. G. Pidvishhennja efektyvnosti roboti anod-nih zazemljuvachiv shljahom podalannja elektrohimičnih bar'єriv / O. G. Arhipov, D. I. Usov, L. V. Karpjuk, N. I. Galaburda // Visnik SNU im. V. Dalja. – 2017. - №5 (235). –S. 30-33.

**Архипов А. Г., Усов Д. И., Карпюк Л. В., Галабурда Н. И. Деградация металла газопроводов в условиях катодной защиты.**

*Проанализированы структурные изменения металла труб газопровода и степень орошения отдельных его участков. Трубы, находившиеся в эксплуатации длительное время, были изготовлены из стали Сталь 20. Для исследований выбраны трубы Ду273 с толщиной стенки 8 мм. Для изготовления анодов использовались трубы Ду159 с толщиной стенки 6 мм после 20 лет эксплуатации в составе газопровода, а затем порезанные на участки длиной 20 метров. Для активации работы анодов использовались химически активные вещества, что вызвало уменьшение сопротивления в системе анод-грунт. Результаты структурных изменений металла труб позволили определить тенденции деградации металла и наметить пути для дальнейших исследований с целью продления их эксплуатационного ресурса.*

**Ключевые слова:** деградация, сопротивление почвы, коррозия, орошение металла

**Arhipov O. G., Usov D. I. Karpjuk L. V., Galaburda N. I. Degradation of the metal of gas pipelines under cathodic protection conditions.**

**Degradation of the metal of gas pipelines under cathodic protection conditions.**

*Structural changes in the metal of the pipes of the gas pipeline and the degree of irrigation of its individual sections are analyzed. The pipes, which were in operation for a long time, were made of steel Steel 20. The pipes Du 273 with a wall thickness of 8 mm were chosen for the research. To produce anodes Du159 pipes with a wall thickness of 6 mm were used after 20 years of operation as part of the gas pipeline, and then they were cut into sections of 20 meters in length. To activate the anodes chemically active substances were used, which caused a decrease of the resistance in the anode-ground system. The results of the structural changes in the metal of the pipes made possible to determine the trends of metal degradation and to outline the ways for further research with a purpose to prolong their service life.*

**Key words:** degradation, soil resistance, corrosion, metal irrigation.

**Архипов Олександр Геннадійович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машинознавства та обладнання промислових підприємств» СХУ імені В. Даля

**Усов Дмитро Ігорович**, начальник ПКЗ Северодонецького ЛВУ

**Карпюк Людмила Вікторівна**, старший викладач кафедри «Машинознавства та обладнання промислових підприємств» СХУ імені В. Даля

**Галабурда Наталія Іллівна**, старший викладач кафедри «Машинознавства та обладнання промислових підприємств» СХУ імені В. Даля

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Суворін О.В.**

Стаття подана 18.11.2017.