

КОРОЗИЙНО-ДІАГНОСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПІДЗЕМНОЇ СТАЛЕВОЇ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

¹Вінницький національний технічний університет

Проведений аналіз динаміки виникнення інцидентів на газотранспортній мережі та її частоти відмов вказує, що корозія тіла металевого підземного трубопроводу має вагомий вплив на виникнення аварійних ситуацій в системах газопостачання. Наведено фактори, що впливають на швидкість протікання корозійних процесів. Експериментально встановлено значення швидкості корозії тіла труби, ступінь її корозійної небезпеки та захищеність за часом, а також визначено залишковий ресурс ділянки газотранспортної мережі по протіканню швидкості корозії металу.

ВСТУП

Велика частина газопроводів має підземну конструктивну схему прокладки. На технічний стан підземних трубопроводів впливають корозійно-активні ґрунти. Захист трубопроводів від корозії – це одна з найважливіших задач, яка стоїть перед організаціями, які експлуатують такі мережі. Корозія металу труб відбувається як зовні під впливом ґрунтового електроліту, так і всередині, внаслідок домішок вологи, сірководню та солей, що містяться в вуглеводневій сировині, яка транспортується. У деяких випадках корозія може викликати дуже швидко появу наскрізних свищів в металі труби і цим вивести трубопровід з ладу, такі руйнування відбуваються особливо часто в трубопроводах, прокладених без достатнього захисту. Крім того, труби, що проходять під землею поблизу ліній електропередач та електрифікованого транспорту, часто піддаються впливу блукаючих струмів [1].

Під впливом корозійного зносу металу зменшується товщина стінки труб, що в свою чергу може призвести до виникнення аварійних ситуацій на газових мережах. Корозія металевих споруд завдає великий матеріальний і економічний збиток. Безпека об'єктів трубопровідного транспорту повинна бути максимально високою для забезпечення надійних безперебійних постачань газу до споживача, а загроза виникнення аварій – мінімізована.

Проблемі прогнозування довговічності трубопровідної мережі газотранспортної системи, яка експлуатується в умовах корозійних впливів, велику увагу було приділено в роботах багатьох вчених. Так С.О. Складовим було досліджено чинники, що впливають на інтенсивність та характер корозійних процесів [2]. У 9-му звіті європейської групи EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group) представлено статистичні дані у період з 1970 р. по 2013 р. про кількість аварійних випадків на газопроводах деяких європейських країн та причини їх виникнення [3]. Так на рис. 1 та рис. 2 наведено загальну протяжність газотранспортної мережі та щорічне число інцидентів на ній відповідно.

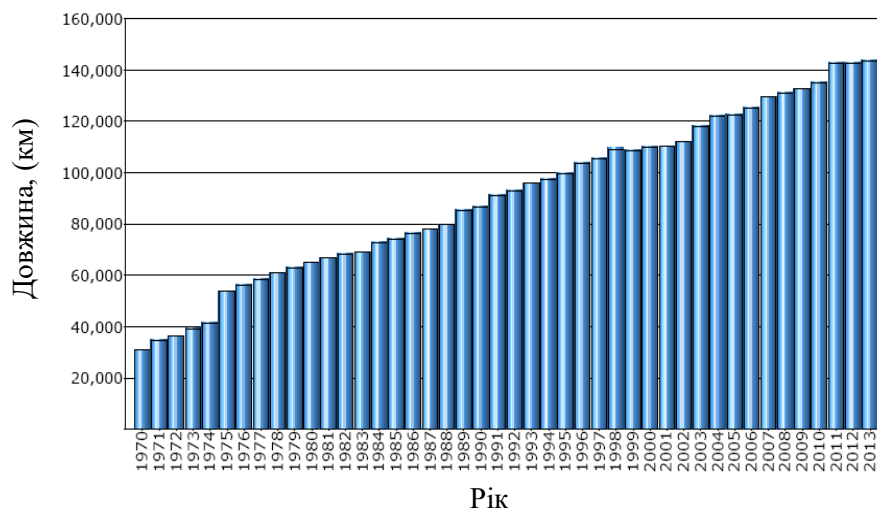


Рисунок 1 – Загальна довжина європейської газотранспортної мережі EGIG [3]

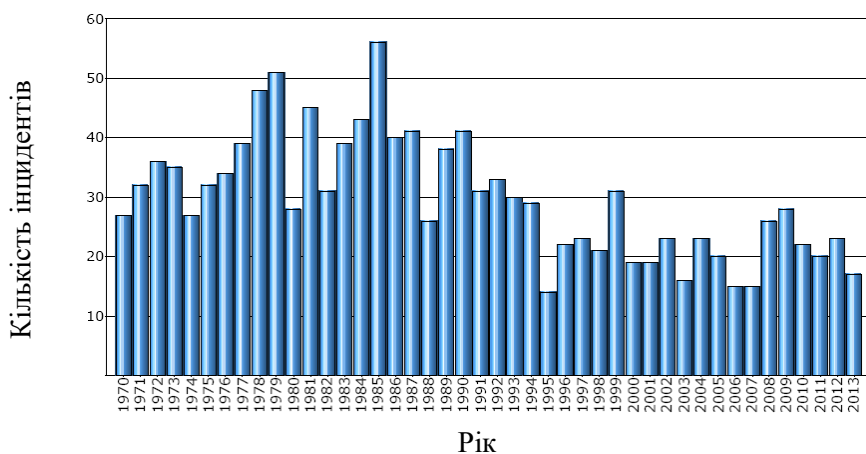


Рисунок 2 – Щорічне число інцидентів на газотранспортній мережі EGIG [3]

Таблиця 1 – Чинники впливу на первинні частоти відмов газотранспортної мережі [3]

Причина аварійної ситуації	Частота відмов, 1,000 км·рік		
	1970-2013	20014-2013	2009-2013
Зовнішнє втручання	0,156	0,055	0,044
Корозія	0,055	0,038	0,042
Дефекти при будівництві	0,055	0,025	0,026
Врізка під тиском	0,015	0,006	0,009
Геофізичні процеси	0,026	0,020	0,024

В табл. 1 перераховано причини виникнення аварійних ситуацій на газотранспортній мережі та статистика їх частоти відмов, яка вказує, що корозія металу підземної трубопровідної мережі має вагомий вплив на виникнення аварії.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Проблема аналізу швидкості корозії і прогнозу технічного стану газорозподільних мереж актуальна у зв'язку з сильною зношеністю технологічного обладнання. Основними причинами виникнення аварійних ситуацій на газорозподільних мережах є корозійне руйнування і корозійне розтріскування під напругою. Протяжність трубопроводів, які використано для транспортних цілей, безперервно зростає, що пов'язано з їх безперечною перевагою перед іншими способами транспортування. У той же час збільшення протяжності трубопроводів призводить до підвищення можливості їх руйнування в результаті корозії [4]. Тому надзвичайно важливим стає завдання оцінки несучої здатності, залишкового ресурсу газорозподільних мереж з корозійними дефектами та визначення швидкості корозії тіла труби.

Для обґрунтування методики оцінювання корозійного стану підземних сталевих газопроводів необхідно якомога повніше враховувати фактори, що впливають на розвиток корозії. З аналізу літературних джерел [5–7] випливає, що найбільш істотними факторами k_i , що впливають на швидкість протікання корозійних процесів на підземних газорозподільних мережах, є: термін експлуатації газопроводу, товщина захисного покриття, напруження в стінках газопроводу, якість марки сталі, питомий електричний опір ґрунту, вологість ґрунту, лужність ґрунту та його окисно-відновний режим, щільність катодного струму, рН-рівень ґрунту, вологість ґрунту, температура газопроводу.

Дані про значеннях цих факторів можуть бути отримані з проектної документації на газопроводи, за допомогою польових досліджень, за даними датчиків, станцій електрохімічного захисту, а також обчислені по вимірним значенням непрямих факторів.

Потенційно прогнозована швидкість корозії металу V_{fT} характеризує ріст глибини дефекту зовнішньої стінки трубопроводу газотранспортної мережі в певний момент часу та залежить від активності корозійних факторів k_i , що призводить до появи корозійних дефектів будь-якої конфігурації та розмірів. Для визначення числових значень протікання швидкості корозійних процесів із врахуванням перерахованих вище вагомих факторів впливу можна скористатися наступним виразом:

$$V_{i i} = \frac{\sum_{n=1}^i k_i}{n}, \quad (1)$$

де n – кількість корозійних факторів.

Швидкість протікання корозійних процесів може бути виражена через зміну маси матеріалу труби, кількість продуктів корозії, глибину поверхні тіла труби враженої корозійними процесами, а також наявністю утворених дефектів та пошкоджень. Зазвичай одиницями вимірювань швидкості корозії являються: зміна маси ($\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$), струм корозії ($\text{А}/\text{м}^2$), а також ріст глибини корозії ($\text{мм}/\text{рік}$).

Розрахунок залишкового ресурсу обстежуваної ділянки газотранспортної мережі по швидкості корозії металу слід визначати по результатам мінімального і максимального значень товщини стінки тіла труби:

$$V_{\delta_{\min, \max}} = \frac{\delta_{\min, \max}}{\dot{\delta}}, \quad (2)$$

де $\delta_{\min, \max}$ – мінімальне і максимальне значення глибини корозії, мм.

$\dot{\delta}$ – час експлуатації газопроводу.

Для забезпечення антикорозійного захисту газопроводів використовується комплексне поєднання пасивного (ізоляційні покриття) і активного (електрохімічної) захисту. Критерієм оцінки ефективності електрохімічного захисту є захисний потенціал і захисна щільність струму, які залежать як від фізико-хімічних властивостей корозійного середовища, так і стану обладнання протикорозійного захисту і можуть мінятися в широких межах [8].

Безпечна експлуатація обладнання газопровідних систем регламентована вимогами Правил безпеки систем газопостачання України [9], при цьому основними причинами відмов підземних газопроводів продовжує залишатися корозія труб [10, 11].

Захист трубопроводів здійснюється за рахунок підтримки мінімального (негативного) захисного потенціалу на кінцях зони захисту. Завищення по модулю захисних потенціалів щодо нормованих значень призводить до перевитрати електроенергії і в цілому здорожує експлуатацію системи катодного захисту, за рахунок від'ємного впливу на стан ізоляційного покриття і веде до зміни механічних властивостей металу труби, підвищеному розтворенню анодних заземлень. У свою чергу недостатній катодний захист газопроводів призводить до підвищення швидкості корозійного ураження стінки трубопроводу і, як результат, до передчасного виходу його з ладу [12].

У зв'язку з вищевказаним для експериментального визначення швидкості корозії тіла труби підземних сталевих газових мереж був проведений аналіз актів перевірки технічного стану газопроводів Вінницької області. Для наступних розрахунків вибрано газопровід середнього тиску виконаний із сталі ГОСТ 10705 діаметром 108x4 мм глибиною прокладання – 0,9 м з дуже посиленим ізоляційним покриттям (рис. 3). Даний газопровід було споруджено в с. Тернявка Козятинського району у 1998 році. Час експлуатації на момент проведення перевірки технічного стану газопроводу (14.07.2014р.) склав 16 років. Питомий опір ґрунту (чорнозем) складає 40 Ом·м.



Рисунок 3 – Наскрізна корозія на газопроводі діаметром 108x4 мм

Так як корозія наскрізна: $\delta_{\bar{n}} = \delta_e = 4$ мм, тоді фактична швидкість корозії буде дорівнювати:

$$V_{\dot{O}} = \frac{\delta_{\dot{e}}}{\dot{O}} = \frac{4}{16} = 0,25 \text{ (мм/рік)}, \quad (3)$$

де $\delta_{\dot{n}}$ – товщина стінки тіла труби;

$\delta_{\dot{e}}$ – товщина наскрізної корозії тіла труби;

\dot{O} – час експлуатації газопроводу.

Наступним кроком є визначення показника небезпечної корозії для труби, яка розглядається:

$$\delta_{\dot{e}} = 0,3 \cdot \delta_{\dot{n}} = 0,3 \cdot 4 = 1,2 \text{ (мм)}. \quad (4)$$

Швидкість допустимої корозії по нормативному строку служби газопроводу:

$$V_{\dot{A}} = \frac{\delta_{\dot{e}}}{40} = \frac{1,2}{40} = 0,03 \text{ (мм/рік)}, \quad (5)$$

де 40 – нормативний строк служби сталевго підземного газопроводу, [рік] [13].

Критерієм безпеки корозії є перевищення значення фактичної швидкості корозії по відношенню до допустимої швидкості корозії. Інформація про степiнь корозійної безпеки, про корозійні відмови та показники допустимої швидкості корозії використовуються для прийняття рішень про можливе відключення окремих установок катодного захисту.

Фактична ступiнь захисту від корозії буде становити:

$$Z_{\hat{E}} = \frac{(V_{\dot{O}} - V_{\dot{A}})}{V_{\dot{O}}} \cdot 100 = \frac{(0,25 - 0,03)}{0,25} \cdot 100 = 88\% . \quad (6)$$

Номінальна ступiнь захисту від корозії, яка контролювана часом поляризації, [%]:

$$Z_{\hat{E}} = 96 - 0,74 \cdot \tau_{i\dot{\delta}}, \text{ де} \quad (7)$$

$\tau_{i\dot{\delta}}$ – час простою електрозахисних установок, [доб/рік].

Час простою електрозахисних установок:

$$\tau_{i\dot{\delta}} = \frac{(96 - Z_{\hat{E}})}{0,74} = \frac{(96 - 88)}{0,74} = 10,81 \text{ (доб/рік)}. \quad (8)$$

Захищеність за часом:

$$K_{\tau} = \frac{(T - \tau_{i\dot{\delta}})}{\dot{O}} = \frac{(365 - 10,81)}{365} = 0,97 \text{ (} Z_{\tau} = 97 \text{ \%)}. \quad (9)$$

При цьому гранична захищеність за часом по [13] встановлена $Z_{\tau} = 95 \text{ \%}$

Ранжування зон корозійної безпеки підземних газопроводів в залежності від швидкості корозії наведено в таблиці 2 [14].

Таблиця 2 – Ранжування зон корозійної безпеки підземних газопроводів [14]

Ступiнь корозійної безпеки	Швидкість корозії, мм / рік
Висока	Більше 0,3
Підвищена	Від 0,1 до 0,3
Помірна	Менше 0,1

Для сталевго підземного газопроводу, який було розглянуто для експериментального визначення швидкості корозії тіла труби за табл. 2 встановлено, що дана ділянка газової мережі

відноситься до підвищеного ступеня корозійної небезпеки, так як її обчислена фактична швидкість корозії V_{δ} становить 0,25 (мм/рік).

ВИСНОВКИ

- Захищеність за часом на ділянці газопроводу, яка була розглянута складає 97 %, що перевищує граничну захищеність за часом, тому можна вважати, що ефективний захист за часом був відсутній, при цьому корозія газової мережі посилювалася зважаючи на нестабільну поляризації, яка була створена діючими установками катодного захисту. Це робить актуальним необхідність здійснення ранньої технічної діагностики підземних газопроводів виходячи з урахування системних простоїв установок катодного захисту і критерію захищеності за часом по всій довжині споруди.

- Для збільшення експлуатації підземних сталевих газопроводів запропоновано в якості засобу захисту від корозії використати глибинний анодний заземлювач з металонасиченого бетону [15], що дозволить підвищити якість захисту та захищеність за часом за рахунок зменшення швидкості корозії та підтримки захисної різниці потенціалів по всій довжині газопроводів з мінімізацією енергозатрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ратушняк Г. С. Управління змістом проектів із забезпечення надійності зовнішніх газорозподільних мереж: монографія / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська. – Вінниця, 2014. – 128 с. – ISBN 978-966-641-582-3.
2. Склярів С.О. Математичні моделі та інформаційні технології автоматизованого управління системами проти корозійного захисту магістральних трубопроводів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Харк. нац. ун-т радіоелектрон. — Х., 2002. — 19 с.
3. Gas pipeline incidents. 9-th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970-2013). Режим доступу: <https://www.egig.eu/uploads/bestanden/ba6dfd62-4044-4a4d-933c-07bf56b82383>.
4. Андреев И.Н. Введение в коррозиологию: Учеб. пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2004 – 140с.
5. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов. М.: Металлургия, 1976. 472 с.
6. Конакова М.А. Коррозионное растрескивание под напряжением трубных сталей / Конакова М.А., Теплинский Ю.А. – СПб.: Инфода, 2004 – 358 с.
7. Теплинский Ю.А. Управление эксплуатационной надежностью магистральных газопроводов / Теплинский Ю.А., Быков И.Ю. – М.: Нефть и газ, 2007 – 400 с.
8. Бекман, В. Катодная защита: Справ. Изд. Бекман В. Пер. с нем. / Под ред. Стрижевского И.В. - М.: Металлургия, 1992. – 176 с.
9. Правила безпеки систем газопостачання України: Міненерговугілля України. – Офіц. вид. – К., 2015 р. – 142 с.
10. Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії. ДСТУ Б В.2.5 – 29:2006. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 120 с.
11. Ратушняк Г. С. Енергоощадна технологія влаштування вертикального глибинного анодного заземлювача з металонасиченого бетону / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013. – № 2. – С. 67–72.
12. Кузнецов, М. В. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров / М. В. Кузнецов, В. Ф. Новоселов, П. И. Тугунов, В. Ф. Котов. – М.: Недра, 1992 – 240 с.
13. РД 12-411-01. Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов. Серия 12. Вып.3. – М.: ГУП НТЦ Промышленная безопасность, 2001. – 120 с.
14. ГОСТ ИСО 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. – М.: Стандартиформ, 2006. – 59 с.
15. Ратушняк Г. С. Глибинний анодний заземлювач із зменшеною металоємністю/ Г. С. Ратушняк, О. І. Ободянська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012. – № 1. – С. 62–65.

REFERENCES

1. Ratushnyak, G.S., & Obodianska, O.I., (2014). Management of projects maintenance is from providing of reliability of external gas-distributing networks. Vinnitsa, Ukraine: VNTU, 128.
2. Skliarov, S.O. (2002). Matematychni modeli ta informatsiyi tekhnolohiyi avtomatyzovanoho upravlinnya systemamy proty koroziynoho zakhystu mahistralnykh truboprovodiv [Mathematical models

and automated IT management systems against the corrosion protection of pipelines]. Extended abstract of candidate's thesis. Kharkiv: KharNUR [in Ukrainian].

3. Gas pipeline incidents. 9-th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970-2013). (n.d.). egig.eu. Retrieved from: <https://www.egig.eu/uploads/bestanden/ba6dfd62-4044-4a4d-933c-07bf56b82383>.

4. Andreev, I. (2004). Introduction to korroziologiyu. Kazan, Russia. [in Russian].

5. Zhuk, N. (1976). Course theory of corrosion and protection of metals. Moscow, Russia. [in Russian].

6. Kanakova, M.A., & Teplinskiy, Yu.A., (2004). Stress corrosion cracking pipe steels. St. Petersburg, Russia. [in Russian].

7. Teplinskiy, Yu.A., & Bykov, I.Yu., (2007). Operational reliability of gas mains management. Moscow, Russia: Oil and gas, 400.

8. Bekman, V. (1992). Katodnaya zashchta [Cathodic protection]. I.V. Strizhevskiy (Ed.). Moscow: Metallurhiya. [in Russian].

9. Pravyla bezpeky system gazopostachannia Ukraine [Safety of the systems of gas-supplying of Ukraine rules]. (2015). Kyiv: Minenerhovuhillya Ukraine [in Ukrainian].

10. Systema hazopostachannya. Hazoprovody pidzemni stalevi. Zagalni vymohy po zakhystu vid koroziyi [The system of gas supply. Gas underground steel. General requirements for corrosion protection]. (2006). DSTU B V.2.5 – 29:2006 from 01th June 2007. Kyiv: Minbud Ukraine [in Ukrainian].

11. Ratushnyak, G. (2013). Energy-saving technology vertical placement of deep anodic grounding of saturated metal concrete / G. Ratushnyak, O. Obodianska // Modern technologies, materials and constructions in building, 15, 67-72.

12. Kuznetsov, M.V., Novoselov, V.F., Tyhynov, P.I., & Kotov, V.F. (1992). Corrosion protection of pipelines and tanks. Moscow, Russia: Nedra, 240 [in Russian].

13. Instruksiya po diahnostirovaniyu tekhnicheskoho sostoyaniya stalnykh gazoprovodov [Instructions for diagnosing the technical condition of underground steel pipelines]. (2001). RD 12-411-01 from 15th September 2001. Moscow: HUP NTTs Promyshlennaya bezopasnost [in Russian].

14. Yedinaya sistema zashchty ot korrozii i stareniya. Sooruzheniya podzemnye. Obshchie trebovaniya k zashchite ot korrozii [Unified system of corrosion and aging. Underground constructions. General requirements for corrosion protection]. (2006). HOST ISO 9.602-2005 from 01th January 2007. Moscow: Standartinform [in Russian].

15. Ratushnyak, G. (2012). The deep anode earthing with reduced metal content / G. Ratushnyak, O. Obodianska // Modern technologies, materials and constructions in building, 12, 62-65.

Г.С. Ратушняк¹, О.І. Ободянська¹

КОРОЗІЙНО-ДІАГНОСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПІДЗЕМНОЇ СТАЛЕВОЇ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

¹Вінницький національний технічний університет

В статті висвітлено динаміку виникнення аварійних ситуацій на газотранспортній мережі, які було спричинено корозією металевого підземного трубопроводу.

Об'єкт дослідження – фактори, що впливають на швидкість протікання корозійних процесів на підземних сталевих газорозподільних мережах.

Мета роботи – оцінювання несучої здатності та залишкового ресурсу газорозподільних мереж з корозійними дефектами та визначення швидкості корозії тіла труби.

Найбільш істотними факторами, що впливають на швидкість протікання корозійних процесів є: товщина захисного покриття, якість марки сталі, щільність катодного струму, термін експлуатації газопроводу та питомий електричний опір ґрунту. Визначивши швидкості корозії металу, можливо визначити залишковий ресурс ділянки газотранспортної мережі, ступінь її корозійної небезпеки та захищеність за часом.

Проведене в статті дослідження дозволяє встановити, що ефективний захист за часом на досліджуваній ділянці газопроводу був відсутній, при цьому корозія газової мережі посилювалася зважаючи на нестабільну поляризації, яка була створена діючими установками катодного захисту.

Тому для збільшення експлуатації підземних сталевих газопроводів запропоновано в якості засобу захисту від корозії використати глибинний анодний заземлювач з металонасиченого бетону

Ключові слова: сталева газотранспортна мережа, корозія, швидкість протікання корозії, ступінь корозійної небезпеки, захищеність за часом.

Ратушняк Георгій Сергійович, кандидат технічних наук, професор, декан факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, академік Академії будівництва України, e-mail: ratushnyak.gs@i.ua.

Ободянська Ольга Ігорівна – асистент кафедри інженерних систем в будівництві, Вінницький національний технічний університет, e-mail: olha.obodyanska@i.ua.

G. S. Ratushnyak¹, O.I. Obodianska¹

CORROSION-DIAGNOSTIC MONITORING UNDERGROUND STEEL TRANSPORTATION NETWORKS

¹Vinnitsia National Technical University

In the article the dynamics of emergencies in gas transportation network, which was caused by corrosion of the metal underground pipeline.

The object of study – factors that affect the rate of occurrence of corrosion processes in underground steel gas distribution networks.

Purpose – evaluation of the bearing capacity and residual life distribution networks with corrosion defects and determining the corrosion rate of the body tube.

The most significant factors affecting the rate of occurrence of corrosion processes is the thickness of the protective coating, quality grade of steel, the density of the cathode current, the life of the pipeline and the electrical resistivity of the soil. Determining the rate of corrosion may determine the remaining life of gas network areas, degree of danger and corrosion protection over time.

A study in the article allows research to establish that effective protection time for study section of the pipeline was absent, and the corrosion of the gas network was aggravated because of the unstable polarization, which was established current cathodic protection installations. Therefore, to increase the exploitation of underground steel pipelines proposed as a means of protection against corrosion of deep anodic grounding of saturated metal concrete.

Keywords: steel gas transmission network, corrosion, leakage rate of corrosion, corrosion degree of danger, security for the future.

Ratushnyak Georgiy, PhD in engineering, professor, dean of the Faculty building, power engineering and gas supply, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia National Technical University, academician in the Ukrainian Academy of building, e-mail: ratushnyak.gs@i.ua.

Obodianska Olha, assistant of the department of Systems Engineering in construction, Vinnitsia National Technical University, e-mail: olha.obodyanska@i.ua.

Г.С. Ратушняк¹, О.И. Ободянская¹

КОРРОЗИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНОЙ СТАЛЬНОЙ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

¹Винницкий национальный технический университет

В статье освещено динамику возникновения аварийных ситуаций на газотранспортной сети, которые были вызваны коррозией металлического подземного трубопровода.

Объект исследования – факторы, влияющие на скорость протекания коррозионных процессов на подземных стальных газораспределительных сетях.

Цель работы – оценка несущей способности и остаточного ресурса газораспределительных сетей с коррозионными дефектами и определение скорости коррозии тела трубы.

Наиболее существенными факторами, влияющими на скорость протекания коррозионных процессов, являются: толщина защитного покрытия, качество марки стали, плотность катодного тока,

срок эксплуатации газопровода и удельное электрическое сопротивление грунта. Определив скорости коррозии металла, можно определить остаточный ресурс участка газотранспортной сети, степень ее коррозионной опасности и защищенность по времени.

Проведенное в статье исследование позволяет установить, что эффективная защита по времени на исследуемом участке газопровода отсутствовала, при этом коррозия газовой сети усиливалась несмотря на нестабильную поляризацию, которая была создана действующими установками катодной защиты. Поэтому для увеличения эксплуатации подземных стальных газопроводов предложено в качестве средства защиты от коррозии использовать глубинный анодный заземлитель с металлонасыщенного бетона

Ключевые слова: стальная газотранспортная сеть, коррозия, скорость протекания коррозии, степень коррозионной опасности, защищенность по времени.

Ратушняк Георгий Сергеевич, кандидат технических наук, профессор, декан факультета строительства, теплоэнергетики и газоснабжения, Винницкий национальный технический университет, академик Академии строительства Украины, e-mail: ratushnyak.gs@i.ua.

Ободьянская Ольга Игоревна, ассистент кафедры инженерных систем в строительстве, Винницкий национальный технический университет, e-mail: olha.obodyanska@i.ua.