

© М.С. Полутренко  
д-р техн. наук  
ІФНТУНГ

## Екологічна безпека експлуатації магістральних газопроводів

УДК 622.4.076 : 620.197.6

*На прикладі одного з магістральних газопроводів (МГ) Південного регіону проведено дослідження корозійної активності ґрунтів як одного з важливих чинників забезпечення екологічної безпеки експлуатації газопроводів. У результаті комплексного обстеження ґрунтів на досліджуваних ділянках траси МГ встановлено високий ступінь корозійної активності ґрунтів, що призводить до інтенсифікації корозійних процесів підземних газопроводів. Наявність сульфат-іонів у водних витяжках ґрунтів спричиняє розвиток мікробіологічної корозії за участі сульфатвідновлювальних бактерій (СВБ). Для підвищення ефективності протикорозійного захисту магістрального газопроводу із урахуванням корозійної активності ґрунтів запропоновано використовувати розроблене інноваційне біостійке протикорозійне покриття на основі бітумно-полімерної мастики, модифікованої інгібітором із класу амінів.*

**Ключові слова:** магістральні газопроводи, корозійна активність ґрунтів, СВБ бактерії, ізоляційні покриття.

*На прикладі одного з магістральних газопроводів (МГ) Южного регіону проведено дослідження корозійної активності ґрунтів як одного з важливих факторів забезпечення екологічної безпеки експлуатації газопроводів. В результаті комплексного обстеження ґрунтів на досліджуваних ділянках траси МГ встановлено високу ступінь корозійної активності ґрунтів, що призводить до інтенсифікації корозійних процесів підземних газопроводів. Наявність сульфат-іонів у водних витяжках ґрунтів спричиняє розвиток мікробіологічної корозії з участю сульфатредуруючих бактерій (СРБ). Для підвищення ефективності протикорозійної захисту магістрального газопроводу з урахуванням корозійної активності ґрунтів запропоновано використовувати розроблене інноваційне біостійке протикорозійне покриття на основі бітумно-полімерної мастики, модифікованої інгібітором із класу амінів.*

**Ключевые слова:** магистральные газопроводы, коррозионная активность грунтов, СВБ бактерии, изоляционные покрытия.

*On the example of one of the main gas pipelines (MP) of Southern region it was investigated a study on corrosivity soil as an important factor in ensuring environmental pipeline safety operation. As a result of a comprehensive survey of soil at the test sections of the MP route it was found a high degree of corrosivity of soil, which leads to an intensification of corrosion processes in underground pipelines. The presence of sulfate ions in aqueous extracts of soils in the studied sections of the MP route causes a development of microbiological corrosion involving sulfate-reducing bacteria. In order to increase the effectiveness of corrosion protection for gas pipeline study sites based on soil corrosivity it was proposed to use a developed innovative bioresistant resistant coating based on bitumen-polymer mastic modified inhibitor class of amines.*

**Key words:** gas pipelines, corrosive soils, SRB bacteria, insulation coatings.

Важливим елементом нафтогазового комплексу України є мережа газопроводів, яка відіграє значну роль у забезпеченні енергетичної безпеки країни. Під час проектування та експлуатації газопроводів їх вплив на довкілля та екологічну безпеку враховують недостатньо. Найбільш чутливий екологічний збиток наноситься у разі виникнення аварій на магістральних трубопроводах.

Причини відмов трубопроводів, що створюють екологічний ризик, висвітлено в роботах вітчизняних та зарубіжних вчених [1–4]. Аналіз причин відмов трубопроводів показав [5], що понад 80 % усіх відмов сталося через корозію металу труб. Унаслідок корозії відбувається значне зменшення перерізу трубопроводу. Це різко підвищує екологічний ризик подальшої експлуатації таких металоконструкцій і актуалізує проблему оцінки їх залишкового ресурсу. Внаслідок експлуатації упродовж 20–30 рр. газопроводів України, частка яких у структурі ПАТ «Укртрансгаз» сягає близько 30 %, ризик аварійно небезпечних дефектів підвищується, що негативно впливає на екологічну безпеку експлуатації трубопроводного транспорту.

Важливим чинником забезпечення безаварійної роботи підземних газопроводів є захист їх поверхні від ґрунтової корозії ізоляційними покриттями з якісно новими властивостями, зокрема біостійкістю до дії асоціацій ґрунтових корозійно небезпечних мікроорганізмів. Крім біостійкості ізоляційних покриттів, необхідно враховувати також комплекс фізико-механічних і протикорозійних властивостей. Пошкодження труб у підземному середовищі, крім корозійно-механічної природи, включають біологічну складову, що полягає в деструкції захисного ізоляційного покриття під дією асоціацій ґрунтових корозійно небезпечних мікроорганізмів. У 77 % випадків корозія сталевих підземних металоконструкцій спричинена життєдіяльністю бактерій циклу сірки, серед яких СВБ відіграють ключову роль. У результаті біокорозії, за рахунок високої хімічної активності мікроорганізмів – їх зростання та розмноження, – руйнування металу починається раптово і може призвести до наскрізних перфорацій буквально за лічені місяці, а відтак і до виникнення еко-

Таблиця 1

Характеристика обстежених ґрунтів

Номер шурфа	Гранулометричний склад	Питомий електроопір $\rho$ , Ом·м	pH	ОВП до шурфування, В	ОВП після шурфування, В
1	супісок із рештками коренів рослин	63	8,04	-0,99	-0,97
2	суглинок коричневий із рештками коренів рослин	10	8,00	-1,05	-1,02
3	суглинок коричневий із рештками коренів рослин	14	7,88	-1,20	-1,17

логічних катастроф. Причиною корозії є порушення однорідності (руйнування) ізоляційних покриттів.

На сьогодні найдієвішим методом підвищення мікробіологічної стійкості захисних ізоляційних покриттів є введення до їх складу інгібіторів корозії (біоцидів), які не тільки гальмують електрохімічну корозію, але й пригнічують життєдіяльність ґрунтових корозійно небезпечних мікроорганізмів.

Для надійної та безпечної експлуатації підземних трубопроводів, крім якісного захисного ізоляційного покриття, необхідно враховувати корозійну активність ґрунтів, у яких вони прокладені. На процеси корозії металоконструкцій у підземному середовищі впливає ряд екологічних факторів, а саме: хімічна природа ґрунтів, їх вологість, питомий опір, окисно-відновний потенціал, наявність СВБ, які відіграють домінуючу роль серед мікробної асоціації ґрунтових мікроорганізмів. Біологічний фактор значною мірою визначає інтенсивність корозійних процесів, що відбуваються на поверхні металевих конструкцій у підземному середовищі.

З огляду на вищевикладене, метою нашої роботи було проведення досліджень із визначення корозійної активності ґрунтів на прикладі одного з магістральних газопроводів Південного регіону.

#### Результати проведених досліджень та їх обговорення

Для визначення корозійної активності ґрунтів проведено комплекс досліджень із визначення кислотності ґрунтів, окисно-відновного потенціалу (ОВП) ґрунту до і після шурфування, питомого опору ґрунту, а також втрату маси металу, визначену гравіметричним методом, що характеризувало корозійне руйнування металу. Відбір проб ґрунту проводили згідно з методикою чинного ДСТУ 3291-95 [6].

Для оцінки корозійної активності ґрунтів щодо прокладання в них трубопроводів характерним є утворення перших ознак наскрізної корозії. Безперечно, що така оцінка є наближеною, оскільки процес корозії сталевих трубопроводів залежить не тільки від ґрунтових умов, але й від сорту сталі, якості і матеріалу зварних з'єднань, товщини стінки трубопроводів, якості захисного ізоляційного покриття, а також від умов експлуатації трубопроводу.

На сьогодні існує більше ніж двадцять польових та лабораторних методів визначення корозійної активності ґрунтів [7–8]. Незважаючи на велику кількість причин корозії металу в ґрунті, жоден із цих методів окремо не може виявити точної картини корозійної активності ґрунтів. Правильну оцінку корозійної активності ґрунтів можна зробити тільки після їх дослідження за допомогою різних методів та зіставлення результатів цих досліджень із урахуванням місцевих географічних і кліматичних умов.

У зоні прокладання магістрального газопроводу Південного регіону діаметром 529 мм із товщиною стінки 8,0 мм було проведено три шурфування. На позначці 163+32 (шурф 1) проведено візуальний аналіз стану поверхні газопроводу, введеного в експлуатацію 1966 року, та ізоляційного покриття, яке складається з бітумно-гумової мастики та бітумізованої паперової обгортки, зморщеної, вочевидь, від тиску ґрунту. Бітумна ізоляція продавлена, бітум розсипчастий, унизу, під ізоляцією, труби сконденсувалася волога. Продукти корозії, які важко відділяються, зосереджені під ізоляцією – у місцях відшарування покриття. Спостерігаються каверни з максимальною глибиною у 0,5 мм та загальною довжиною у 2,0 см. На позначці ПК 576+00 (шурф 2) газопровід покритий поліхлорвініловою ізоляцією, зверху якої намотано один шар поліетиленової обгортки. Візуальний огляд ізоляції на момент проведення досліджень показав, що незважаючи на те, що поверхня обгортки зморщена, механічні пошкодження на ній відсутні. Видається на перший погляд, що обгортка щільно прилягає до ізоляції, проте під ізоляцією зусібіч труби є волога, що вкрай небажано, оскільки в умовах катодної поляризації це призводить до відшарування ізоляційного покриття та інтенсифікації локальних корозійних процесів металу труби. Поверхня труби вкрита іржею, що легко відділяється. Окремих каверн на металі труби не виявлено. Було оглянуто 2,0 м<sup>2</sup> ізоляції. За-

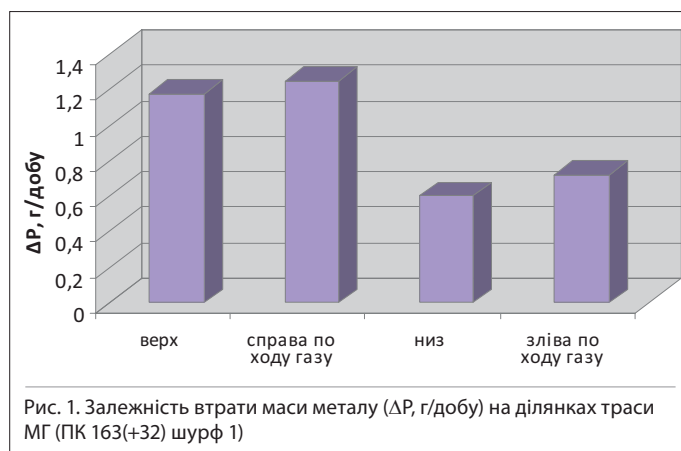


Рис. 1. Залежність втрати маси металу ( $\Delta P$ , г/добу) на ділянках траси МГ (ПК 163(+32)) шурф 1

Таблиця 2

Визначення pH водних витяжок проб ґрунту

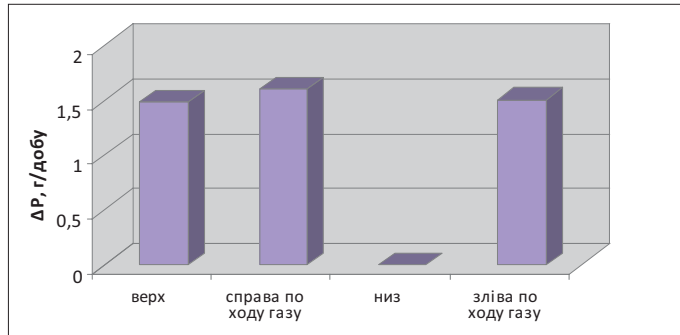
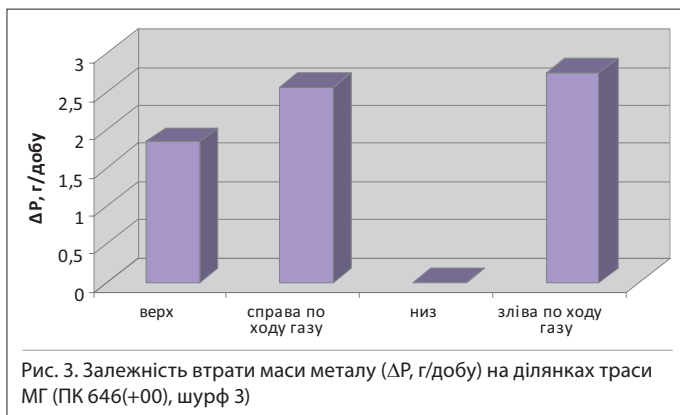
Місце відбору проби ґрунту	Шурф 1				Шурф 2			Шурф 3		
	верх	зліва	справа	низ	верх	зліва	справа	верх	зліва	справа
ручний pH-метр ( $T_{емп}$ )	8,05	8,02	8,00	8,03	8,02	7,95	7,85	7,88	8,0	7,76

Таблиця 3

Якісний вміст йонів  $\text{SO}_4^{2-}$  у ґрунтових водах

Номер проби	ПК 163+32	ПК 576+00	ПК 646+00
Наявність $\text{SO}_4^{2-}$ (якісна проба)	±	+	+

" +" – спостерігалось утворення муті; "±" – слабка муть.

Рис. 2. Залежність втрати маси металу ( $\Delta P$ , г/добу) на ділянках траси МГ (ПК 576(+00), шурф 2)Рис. 3. Залежність втрати маси металу ( $\Delta P$ , г/добу) на ділянках траси МГ (ПК 646(+00), шурф 3)

міну труби проведено 1984 р. Третє шурфування на лінійній частині цього магістрального газопроводу було проведено на відмітці ПК 646+00 (шурф 3). Заміну труби проведено 1984 р. Ізоляція бітумно-гумова, покрита одним шаром бітумізованої паперової обгортки, поверхня якої є гладкою. Візуальний аналіз бітумної ізоляції показав, що ізоляція продавлена, бітум малопластичний. Під ізоляцією внизу труби сконденсувалася волога. У місцях відсутності ізоляції спостерігається наліт іржі, який легко відстає, утворення каверн на тілі труби не виявлено.

Механічний склад досліджених ґрунтів представлений супіском та суглинками (табл. 1). Було визначено такі фізико-хімічні показники: питомий електроопір, кислотність, окисно-відновний потенціал (ОВП) ґрунту до шурфування і після, а також зміна втрати маси металу гравіметричним методом, яка характеризувала інтенсивність корозійних процесів.

Основою для визначення ступеня корозійної активності ґрунту було вибрано питомий електроопір ґрунту. Низькі значення питомого електроопору для шурфів 2 і 3 вказують на високу корозійну активність ґрунтів. Оскільки одним із

Таблиця 4

Характеристика модифікованих ізоляційних покриттів

Праймер	Мастика	Адгезія стрічки до мастики, Н/мм	Адгезія мастики до заґрунтованого металу, Н/мм <sup>2</sup>	Загальна товщина захисного покриття, мм	Міцність під час удару при 20 °С, Дж
A	A	1,5	0,55	4,3	15
A+0,05-0,2 мас. % інгібітора	A+0,05-0,2 мас. % інгібітора	1,54-1,7	0,58-0,70	4,3	15

екологічних показників, який характеризує корозійну активність ґрунту, є кислотність, то важливим було простежити, як змінюється кислотність ґрунту, відібраного зверху і знизу масиву трубопроводу, зліва та справа по ходу газу. Кислотність ґрунтів зумовлена наявністю йонів Гідрогену, концентрація яких виражається величиною рН. Величина рН у ґрунті змінюється залежно від загальної мінералізації ґрунтових вод і наявності в них карбонатної і мінеральних кислот, кислих і основних солей. За величиною рН розрізняють ґрунти: сильнокислі (3–4,5), кислі (4,5–5,5), слабкокислі (5,5–6,5), нейтральні (6,5–7,0), слабколужні (7,0–7,5), лужні (7,5–8,5), сильнолужні (понад 8,5) [8].

Залежно від того, в якому стані знаходяться в ґрунті йони Гідрогену, розрізняють такі види кислотності: актуальна (активна) і потенційна (прихована), яка поділяється на обмінну і гідролітичну. Актуальна кислотність зумовлена йонами Гідрогену, що знаходяться в ґрунтовому розчині. Про її величину судять за результатами аналізу водної витяжки з ґрунту. Актуальна кислотність характеризує кислотність ґрунту на момент її визначення.

За методикою [9] (за допомогою універсального індикатора та рН-метра марки рН-150МИ) було визначено актуальну кислотність відібраних проб ґрунту (табл. 2).

Для характеристики корозійної активності ґрунтів недостатньо оперувати тільки значенням рН, оскільки воно вказує лише на активність йонів Гідрогену у ґрунтовому розчині, але не вказує на кількісний вміст кислот у ґрунті, бо належить тільки до дисоційованої частини кислот.

Також необхідно було виключити можливість посилення корозійних процесів наявністю сульфат-йонів ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Саме з цією метою було проаналізовано водні витяжки ґрунтів на предмет  $\text{SO}_4^{2-}$  якісною реакцією з водним розчином хлориду барію [10]. Випадання білого осаду (поява муті) свідчило про наявність йонів  $\text{SO}_4^{2-}$  у ґрунтових водах. Було проаналізовано водні витяжки всіх відібраних проб ґрунту і одержано такі результати (табл. 3).

Із одержаних даних видно, що сульфат-йони присутні в ґрунтових водах відібраних проб на відмітках ПК 576+00 і ПК 646+00, що свідчить про наявність у ґрунтах сульфатів (можливо,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Наявність сульфат-йонів у ґрунтових водах вказує на можливість розвитку мікробіологічної корозії підземних газопроводів.

Отже, зіставляючи дані кислотності ґрунту з даними якісного аналізу сульфат-йонів, можна припустити, що ґрунти з шурфів на відмітках ПК 576+00 і ПК 646+00 є корозійно-активними.



Для повноти уявлення про корозійну активність ґрунтів було проаналізовано також значення питомого електроопору ґрунтів (див. табл. 1).

З одержаних даних видно, що на трасі магістрального газопроводу спостерігається суттєве зниження питомого електроопору ґрунту на досліджуваній ділянці трубопроводу від позначки ПК 163+32 до ПК 576+00 і ПК 646+00, що вказує на високу корозійну активність ґрунтів. Порівнюючи одержані значення питомого електроопору зразків ґрунту з даними літературних джерел, можемо допустити, що найбільш ймовірна швидкість розвитку пітінгів становитиме 0,18 мм/рік. Для більш точної оцінки корозійної активності ґрунтів було проведено серію дослідів із відібраними зразками ґрунтів із визначення маси втрат металу гравіметричним методом, який є досить простим у технічному плані та поширеним [7].

На рис. 1, 2 та 3 приведено залежності втрати маси металу в ґрунтах на різних ділянках траси.

Аналіз одержаних залежностей  $\Delta P=f(I)$  (див. рис. 1–3) показав, що на ділянках траси магістрального газопроводу ґрунти з втратою маси металу відносять до ґрунтів середньої корозійної активності.

Зіставляючи результати досліджень із визначення корозійної активності ґрунтів прокладання магістрального газопроводу можна стверджувати, що ґрунти на досліджуваних ділянках траси належать до ґрунтів із високим ступенем корозійної активності. Наявність у них  $SO_4^{2-}$  вказує на можливий розвиток біокорозійних процесів за участі СВБ. Тому для запобігання біокорозії металу трубопроводу запропоновано використання ізоляційного покриття на основі бітумно-полімерної мастики (А), модифікованої інгібітором із класу амінів [11]. У табл. 4 приведено характеристики інноваційних біостійких модифікованих ізоляційних покриттів.

Аналіз одержаних результатів показав, що введення запропонованого інгібітора корозії як до складу праймера, так і до складу мастики дає змогу отримувати ізоляційні покриття, використання яких допоможе підвищити ефективність протикорозійного та мікробіологічного захисту експлуатації підземних газопроводів.

### Висновки

1. Проведено дослідження корозійної активності ґрунтів на прикладі одного з магістральних газопроводів Південного регіону.

2. У результаті комплексного обстеження ґрунтів на досліджуваних ділянках траси магістрального газопроводу встановлено, що ґрунти належать до ґрунтів із високим ступенем корозійної активності, що призводить до інтенсифікації корозійних процесів підземних газопроводів.

3. Наявність сульфат-йонів у водних витяжках ґрунту на досліджуваних ділянках траси МГ вказує на розвиток мікробіологічної корозії за участі сульфатвідновлювальних бактерій.

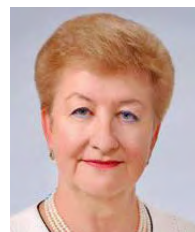
4. З метою підвищення протикорозійного захисту магістрального газопроводу на досліджуваних ділянках із урахуванням корозійної активності ґрунтів рекомендовано використовувати розроблене інноваційне біостійке проти-

корозійне покриття на основі бітумно-полімерної мастики, модифікованої інгібітором із класу амінів.

### Список літератури

1. **Говдяк Р.М.** Підвищення ефективності магістральних газопроводів на пізній стадії експлуатації: автореф. на здобуття наук. ступ. док. техн. наук / Р.М. Говдяк. – Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу, 2008. – 32 с.
2. **Кривенко Г.М.** Прогнозування екологічного та технічного ризиків при експлуатації магістральних нафтопроводів з пересіченим профілем траси: автореф. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук / Г.М. Кривенко. – Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу, 2005. – 23 с.
3. **Кутуков С.Е.** Технологический и экологический мониторинг систем магистрального транспорта и промышленного сбора нефти. Практика и перспективы совершенствования / С.Е. Кутуков // Безопасность жизнедеятельности. Приложение. – 2004. – № 8. – 16 с.
4. **Середницький Я.** Сучасна протикорозійна ізоляція в трубопроводному транспорті / Я. Середницький, Ю. Банахевич, А. Драгілев. – Львів: ТзОв «Сплайн», 2004. – 276 с. – II ч.
5. **Миронюк С.Г.** Анализ аварийности промышленных нефтепроводов в регионе и оценка риска их эксплуатации / С.Г. Миронюк, И.А. Пронина // Новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов: Тезисы докладов Международной конференции. – М.: Ноосфера, 2001. – С. 290–292.
6. **ДСТУ 3291-95** Методи оцінки біокорозійної активності ґрунтів і виявлення наявності мікробної корозії на поверхні підземних металевих споруд. – К.: Держстандарт України, 1996. – 28 с.
7. **Жуков В.И.** Битумная изоляция подземных трубопроводов / В.И. Жуков, Ф.Г. Храмынин. – М.: Госстройиздат, 1964. – 120 с.
8. **Стрижевский И.В.** Подземная коррозия и методы защиты / И.В. Стрижевский. – М.: Металлургия, 1986. – 112 с.
9. **Крикунов В.Г.** Лабораторний практикум по ґрунтознавству / В.Г. Крикунов, Ю.С. Кравченко, В.В. Криворучко [та ін.]. – Біла Церква, 2003. – 83 с.
10. **Полутренко М.С.** Аналітична хімія. Конспект лекцій МВ 02070855 – 934 – 2002 / М.С. Полутренко. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – 117 с.
11. **Пат. 82775 Україна**, МПК (2006) С23 F 11/00, F 16L 58/02. Спосіб захисту підземних нафтогазопроводів від корозії / Крижанівський Є.І., Федорович Я.Т., Полутренко М.С., Гужов Ю.П., Федорович І.В.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а200610107; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9, 2008.

### Автор статті



#### **Полутренко Мирослава Степанівна**

*Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри хімії ІФНТУНГ, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.*

*Наукові інтереси: синтез нових органічних мономерів, пластифікаторів, пошук альтернативних джерел вуглеводнів, підвищення ефективності протикорозійного та мікробіологічного захисту підземних металокопункцій.*