

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ І ПУНКТІВ МЕТОДАМИ ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядаються методи протикорозійного захисту газопроводів і обладнання газонаповнювальних станцій і пунктів. На основі проведених досліджень запропоновано протикорозійні заходи захисту обладнання газонаповнювальних станцій і пунктів Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України».

Ключові слова: скраплений вуглеводневий газ, газонаповнювальна станція, газонаповнювальний пункт, протикорозійний захист, заходи екологічної безпеки.

Abstract

The paper considers methods of anti-corrosion protection of gas pipelines and equipment of gas filling stations and points. Based on the conducted research, anti-corrosion measures for protecting equipment of gas filling stations and points of the National Joint-Stock Company "Naftogaz of Ukraine" are proposed.

Keywords: liquefied hydrocarbon gas, gas filling station, gas filling point, anti-corrosion protection, environmental safety measures.

Вступ

Газонаповнювальні станції (ГНС) та газонаповнювальні пункти (ГНП) скраплених вуглеводневих газів (СВГ) є важливою частиною газового господарства Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України» і призначені для прийому, зберігання та постачання скрапленим газом населення, комунально-побутових, промислових та сільськогосподарських споживачів. Кількість ГНС та ГНП в Україні зростає [1-3]. Вони є об'єктами підвищеної промислової і екологічної небезпеки, на яких постійно повинні проводитися попереджувальні заходи із підвищення безпеки експлуатації. Основна небезпека ГНС та ГНП полягає в тому, що вони працюють зі зрідженими газами, такими як пропан, бутан, етан, метан, етилмеркаптан, сірководень та їх робочі суміші. Ці гази легко переходять із рідкої фази в газову, і потім, змішуючись з атмосферним киснем, утворюють вибухонебезпечний газ. Аналіз аварій, пов'язаних із СВГ, показує, що наслідки, а саме: вибухи і пожежі, можуть набувати катастрофічних масштабів із травмуванням і загибеллю людей. Аварії на ГНС і ГНП можуть статися із декількох причин: несправність обладнання, в тому числі через корозійне пошкодження; помилка обслуговуючого персоналу; непередбачені техногенні та природні фактори.

Метою роботи є підвищення екологічної безпеки газонаповнювальних станцій і пунктів за рахунок використання методів протикорозійного захисту обладнання.

Основна частина

До складу будь-якої ГНС входять: база зберігання зі зливною естакадою, компресорна дільниця, насосна дільниця із зливним відділенням, наповнювальна дільниця із складом балонів, дільниця огляду балонів, випарна установка. Розміщення резервуарів може бути надземне, засипне та підземне. На рисунку 1 показано загальний план ГНС із підземним розміщення резервуарів СВГ.

На ГНС здійснюються такі операції [4-6]:

- 1) прийом скраплених газів від постачальника у залізничних цистернах;
- 2) злив скраплених газів у власні сховища;
- 3) зберігання скраплених газів у надземних та підземних резервуарах, балонах тощо;
- 4) розлив скраплених газів у балони, автоцистерни;
- 5) доставка скраплених газів споживачам у балонах та автоцистернах;

- 6) заправка автотранспорту, який працює на скрапленому газі;
 - 7) прийом порожніх та видача наповнених балонів;
 - 8) технологічне обслуговування та ремонт обладнання на станції;
 - 9) злив невиварених залишків з порожніх балонів, що мають деякі несправності;
 - 10) ремонт балонів і їх огляд.
 - 11) регазифікація (випаровування) скраплених газів;
 - 12) змішування парів скраплених газів із повітрям;
- Резервуари пов'язані між собою наповнювальними, витратними та парофазними колекторами.



Рис. 1. Загальний план ГНС

Налив скраплених газів у балони та автоцистерни здійснюється не тільки насосами, але й за рахунок підвищеного тиску у видатковому резервуарі бази зберігання, створюваного газовими компресорами.

Для зливу залишків, що не випарувалися, і повного спорожнення балони з'єднують трубопроводом зі зливним резервуаром, в якому підтримують знижений тиск.

Безпечна робота ГНС забезпечується установкою на обладнанні та трубопроводах запірної та запобіжної арматури. На всіх ділянках трубопроводів, обмежених запірними пристроями, повинні бути запобіжні клапани. На трубопроводах парової фази, що йдуть до всмоктуючого і напірного колекторів компресорів, як основна запірна арматура використовуються фланцеві крани з мастилом, а як запобіжна - сталеві пружинні клапани.

В якості проміжних пунктів централізованого розподілу газу використовуються газонаповнювальні пункти (ГНП) та проміжні склади балонів (ПСБ). При цьому на ГНП передбачається наповнення балонів скрапленими газами, що надходять із ГНС. На ПСБ передбачається зберігання та розподіл споживачам балонів, наповнених скрапленими газами на ГНС.

До складу ГНП входять: резервуари для зберігання скраплених газів, зливні колонки для зливу скраплених газів з цистерн в резервуари, обладнання для наповнення балонів або резервуарів і зливу невиварених залишків із балонів, вантажно-розвантажувальні дільниці для прийому та відправлення балонів, дільниці для складування наповнених та порожніх балонів. У складі ПСБ передбачаються дільниці для складування наповнених і порожніх балонів і вантажно-розвантажувальні дільниці для прийому та відправлення балонів. ГНП та ПСБ розташовуються в межах території населених пунктів із підвітряного боку.

Газове господарство та обладнання ГНС і ГНП, страждають від хімічної і електрохімічної корозії металів, який взаємодіє із корозійним середовищем.

При цьому хімічна корозія обладнання відбувається внаслідок взаємодії металу із середовищем, яке не проводить електричний струм. Окислювально-відновні реакції, що протікають, здійснюються шляхом безпосереднього переходу електронів з атома металу на частинку (молекулу, атом) окислювача, що входить до складу середовища.

Електрохімічна корозія - взаємодія металу з корозійним середовищем, при якому іонізація атомів

металу та відновлення окисного компонента корозійного середовища протікають не одночасно та їх швидкості залежать від електродного потенціалу. При електрохімічній корозії метал стикається з розчинами, що проводять електричний струм *електролітами*.

Внаслідок неоднорідності будови металу, наявності домішок та різного складу розчину при дотику металу з електролітом утворюються мікроскопічні гальванічні елементи, у яких катодом служать сторонні домішки, а анодом — сам метал. Іони металу переходять у розчин, звільнені електрони переміщуються до катодних ділянок. Процес корозії залежить від електродних потенціалів анодних та катодних ділянок.

При електрохімічній корозії протікають два самостійні процеси: анодний - перехід металу в розчин у вигляді гідратованих іонів з залишенням еквівалентного числа електронів у металі, і катодний - асиміляція надлишкових електронів, що знаходяться в металі.

Анодні та катодні процеси відбуваються на різних ділянках, проте можуть протікати і на одній поверхні, чергуючись за часом.

Основними джерелами блукаючих струмів є рейкові колії трамвая, метрополітену та електрифікованої залізниці (рис. 2).

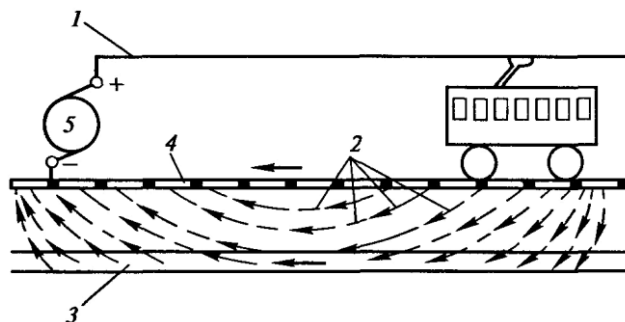


Рис. 2. Схема виникнення та розподілу блукаючих струмів: 1 - контактний провід; 2 - шляхи руху блукаючих струмів; 3 - газопровід; 4 - рейка; 5 - тягова підстанція

Позитивний полюс джерела постійного струму електрифікованого транспорту підключається до контактного проводу, а негативний — до ходових колій. Струм від позитивної шини тягової підстанції по лінії живлення надходить у контактний провід, а звідти через струмоприймач - до двигунів електровоза і далі через колісні пари, рейки і землю до мінусової шини. Струм, що стікає в землю, називають блукаючим. Він буде більшим, чим менший перехідний опір між рейками і землею і чим більший граничний опір рейок. Найбільші струми витоків спостерігаються на ділянках колій електрифікованих залізниць, де є малі перехідні опори між рейками та землею та великі тягові струми. Блукаючі струми, які при цьому виникають, можуть поширюватися на великі відстані.

Блукаючі струми, проникаючи в підземний газопровід, створюють три потенційні зони:

- 1) катодну - ділянку входу блукаючого струму з ґрунту в газопровід (безпечну в корозійному відношенні);
- 2) анодну - ділянку виходу блукаючого струму з газопроводу (небезпечну у корозійному відношенні);
- 3) знакозмінну - ділянку газопроводу, де спостерігається зміна потенційної зони у часі, тобто виникає анодна, або катодна зони.

Зовнішня поверхня підземних металевих трубопроводів піддається електрохімічній корозії, яка залежно від умов може бути викликана взаємодією зовнішньої поверхні металу з навколишнім середовищем (ґрунтом) або впливом на метал блукаючих струмів.

Небезпека ґрунтової корозії підземних металевих споруд, яка залежить від корозійної активності ґрунту по відношенню до сталевих підземних трубопроводів, визначається трьома показниками: питомим електричним опором ґрунту, втратами маси зразків та густиною поляризуючого струму (табл.1).

Критерієм небезпеки корозії, що викликається блукаючими струмами, є наявність позитивної або знакозмінної різниці потенціалів між трубопроводом і землею (анодної або знакозмінної зони). Небезпеку корозії підземних трубопроводів блукаючими струмами оцінюють на підставі електричних вимірів. Основним показником, що визначає небезпеку корозії сталевих підземних трубопроводів під дією змінного струму електрифікованого транспорту, є зміщення різниці потенціалів між

трубопроводом і землею в негативний бік не менше ніж на 10 мВ порівняно зі стандартним потенціалом трубопроводу.

Таблиця 1 – Показники корозійної активності ґрунтів по відношенню до вуглецевої сталі

Ступінь корозійної активності	Питомий електричний опір ґрунту, Ом·м	Втрати маси зразка, г	Середня щільність поляризуючого струму, мА/см ²
Низька	100	До 1	До 0,05
Середня	20...100	1...2	0,05...0,2
Підвищена	10...20	2...3	0,2...0,3
Висока	5...10	3...4	0,3...0,4
Дуже висока	До 6	Понад 4	Понад 0,4

Усі підземні сталеві газопроводи мають бути захищені від корозії [7, 10].

Для захисту від корозії підземних сталевих промислових трубопроводів, підземних сховищ газу; об'єктів промайданчиків, складів підземних резервуарів і сталевих технологічних трубопроводів, заглиблених або обвалованих ґрунтом поверхонь резервуарів, а також внутрішніх поверхонь резервуарів, дотичних до шару води передбачаються ізоляційні покриття. Всі види ізоляційного покриття повинні забезпечити безаварійну, надійну роботу об'єктів протягом визначеного терміну.

Цей вид захисту передбачає ізоляцію газопроводу. Пасивний захист передбачає ізоляцію газопроводу. При цьому використовують протикорозійне покриття на основі бітумно-полімерних, бітумно-мінеральних, полімерних, етиленових і бітумно-гумових мастик. Основні характеристики мастик наведені в таблицях 2-4 [7-9].

Таблиця 2 – Склад бітумно-мінеральних мастик

Мастика	Компоненти мастик, % по масі			
	Бітум БН-70/30 або БНІ-IV	Бітум БН-90/10 або БНІ-V	Мінеральний наповнювач	Масло зелене або сої
I	75	-	25	-
II	-	75	25	-
III	70	-	25	5
IV	-	75	22	3

Таблиця 3 – Склад бітумно-полімерних мастик

Мастика	Компоненти мастик, % за масою						
	Бітум БН-70/30	Бітум БН-90/10	Бітум переокислений з температурою розм'якшення 100-110К	Атактичний поліпропілен	Поліетилен	Поліетилен порошкоподібний нестабілізований	Олія зелене або сої
Бітумно-атактична	95			5			
Бутадієн-3	-	80	-	-	20	-	-
Бутадієн-Л	-	-	80	-	20	-	-
Бутілен-90	97	-	-	-	-	3	-
Бутілен-80	92	-	-	-	-	3	5

Таблиця 4 – Основні фізико-механічні властивості полімерних липких стрічок

Показник	ГОСТ 9.015-74	Полівінілхлоридні		Поліетиленові	
		ПІЛ (літня, ТУ 6-9-103-78)	ПВХ-СЛ (ТУ 51-456-78)	ПВХ-ЛМЛ	ПДБ і ПРДБ
Довжина рулону, м	250+1	250	250	250	100, 250
Товщина, мм, не менше: стрічки	0,3	0,3	0,35	0,3	0,2
шару клею	0,1	-	-	-	-
Опір розриву, МПа, не менше	8	10	10	10	8
Відносне подовження при розриві, %, не менше	80	190	80	100	200
Питомий електричний опір при 20°C, Ом·см, не менше	1·10 ¹¹	1·10 ¹¹	1·10 ¹⁰	1·10 ¹¹	1·10 ¹⁴
Морозостійкість, °С, не менше	-30	-30	-50	-60	-60
Температурний режим експлуатації, °С	-	-30...+55	-20...+40	-60...+50	-40...+60
Температура нанесення °С	-	5	-12	-40	-20

Примітки: 1. Ширина стрічки 400, 450, 500 мм або на замовлення.

2. Відповідно до ГОСТ 20477-86 залежно від товщини плівки основа може бути марок А та Б.

Протикорозійне покриття повинно мати: достатню механічну міцність, пластичність, добре

прилипання до металу труб, мати діелектричні властивості, а також бути стійким біологічного впливу і компонентів, що викликають корозію металу труб.

Методи активного захисту в основному зводяться до створення такого електричного режиму для газопроводу, при якому корозія трубопроводу припиняється.

Катодний захист передбачає надання газопроводу негативного потенціалу щодо навколишнього середовища за допомогою джерела постійного струму. Негативний полюс джерела струму приєднується до газопроводу, а позитивний - до заземлювача (анода). [7-9]. При цьому анодне заземлення поступово руйнується, захищаючи газопровід. Цей вид захисту застосовується від електрохімічної корозії та блукаючих струмів. Принципова схема катодної установки наведена на рисунку 3. Струм від позитивного полюса джерела через сполучний кабель та анодне заземлення переходить у ґрунт. З ґрунту через дефектні місця в ізоляції струм проникає в газопровід і дренажним кабелем прямує до негативного полюса джерела. Відбувається поступове руйнування анода, що забезпечує захист газопроводу від корозії під впливом катодної поляризації.

В якості анодного заземлення установок катодного захисту застосовують залізокремнієві, вуглеграфітні, графітопластові, сталеві та чавунні електроди. Тип анодного заземлення вибирають - залежно від питомого опору, глибини промерзання ґрунту, розташування інших підземних металевих конструкцій. Принцип роботи протекторного захисту показано на рис. 4.

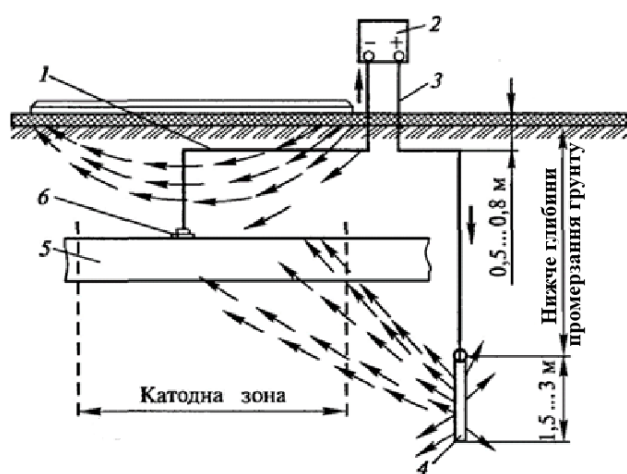


Рис. 3. Схема катодного захисту газопроводу: 1 - Дренажний кабель; 2 - Джерело постійного струму; 3 - з'єднувальний кабель; 4 - заземлювач (анод); 5 - газопровід; 6 - точка дренажування

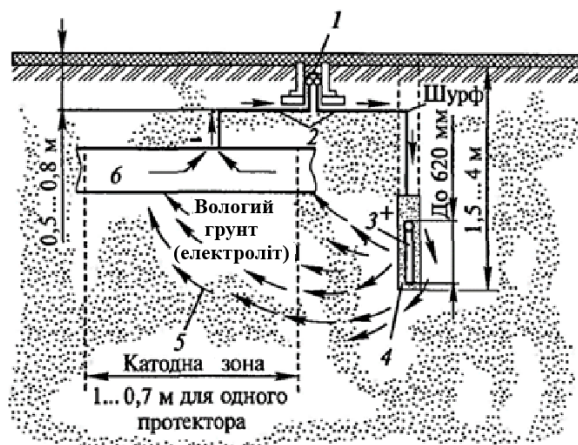


Рис. 4. Схема протекторного (електродного) захисту: 1 - контрольний пункт; 2 - з'єднувальні кабелі; 3 - протектор (електрод); 4 - заповнювач (солі + глина + вода); 5 - шляхи руху захисного струму у ґрунті; 6 - газопровід

При протекторному захисті ділянка газопроводу перетворюється на катод не за рахунок джерела живлення, а за рахунок використання протектора, який з'єднаний провідником з газопроводом і утворює з ним гальванічну пару, в якій газопровід є катодом, а протектор - анодом. В якості протектора використовується метал з більш негативним потенціалом, ніж у заліза.

Струм від протектора 3 через ґрунт потрапляє на газопровід 6, а потім ізольованим з'єднувальним кабелем до протектора. Протектор при стіканні з нього струму руйнуватиметься, захищаючи газопровід.

Зона дії протекторної установки приблизно 70 м. Головне призначення протекторних установок — доповнення до дренажного або катодного захисту на віддалених газопроводах для повного зняття позитивних потенціалів.

При електродренажному захисті струм відводиться з анодної зони газопроводу до джерела (рейки або шини негативної тягової підстанції). Зона захисту близько 5 км. Застосовують три типи дренажу: прямий (простий), поляризований та посилений. Прямий дренаж характеризується двосторонньою провідністю (рис. 5).

Дренажний кабель приєднується тільки до негативної шини. Головний недолік полягає у виникненні позитивного потенціалу на газопроводі у разі порушення стикових з'єднань рейок, тому, незважаючи на простоту, ці установки у міських газопроводах не застосовують.

Поляризований дренаж має односторонню провідність від газопроводу до джерела (рис. 6). При появі позитивного потенціалу на рейках дренажний кабель автоматично відключається, тому його

можна приєднувати до рейок.

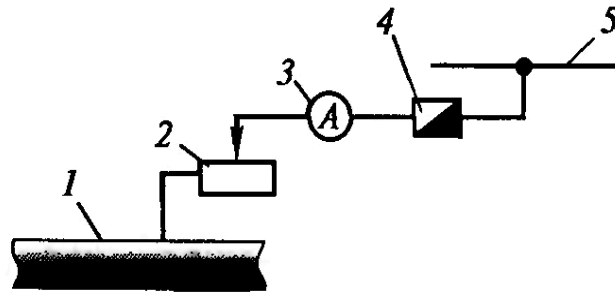


Рис. 5. Схема прямого (простого) дренажу: 1 - захищений газопровід; 2 - регулювальний реостат; 3 - амперметр; 4 - запобіжник; 5 - від'ємна шина (кабель)

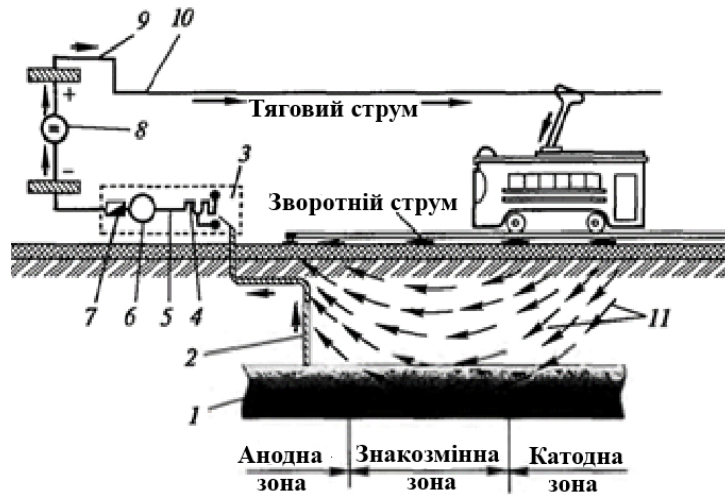


Рис. 6. Схема встановлення прямого поляризованого дренажу: 1 — газопровід, що захищається; 2 - дренажний кабель; 3 - дренажна установка вентиляного типу; 4 - реостат; 5 - вентиляний (випрямляючий) елемент; 6 - амперметр; 7 - запобіжник; 8 - генератор тягової підстанції; 9 - фідер живлячий; 10 - контактний тролейний провід; 11 — шляхи руху блукаючих струмів

Посилений дренаж (рис. 7) застосовують, коли на газопроводі залишається позитивний або знакозмінний потенціал по відношенню до землі, а потенціал рейки в точці дренажу вищий за потенціал газопроводу. У посиленому дренажі додатково в ланцюг включають джерело ЕРС, що дозволяє збільшити дренажний струм. В якості заземлення використовуються рейки.

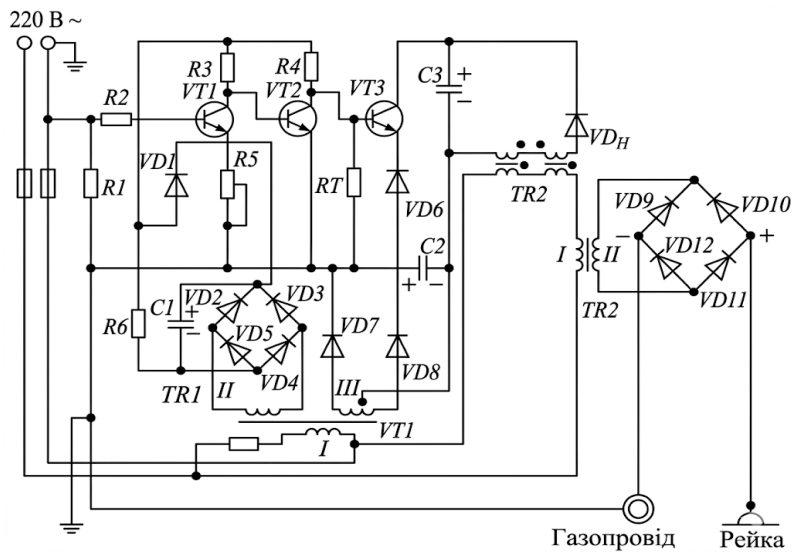


Рис. 7. Схема посиленого дренажу

Додатково до пристроїв електрохімічного захисту використовують ізолюючі фланцеві з'єднання (ІФЗ) та вставки. Вони розбивають газопровід на окремі ділянки, при цьому зменшуються провідність та сила струму, що протікає газопроводом. ІФЗ - прокладки між фланцями з гуми та ебоніту. Вставки з поліетиленових труб застосовують для відсікання різних підземних споруд один від одного. Установка ІФЗ призводить до скорочення витрат електроенергії за рахунок виключення витрат струму перетікання на суміжні комунікації. ІФЗ встановлюють на вводах до споживачів, підземних та надводних переходах газопроводів через перешкоди, а також на вводах газопроводів у ГРС (газорозподільних станціях), ГРП (газорегуляторних пунктах) та ГРУ (газорегуляторних установках).

Електричні перемички встановлюють на суміжних металевих спорудах у тому випадку, коли на одній споруді є позитивні потенціали (анодна зона), а на іншій — негативні (катодна зона), при цьому на обох спорудах встановлюються негативні потенціали. Перемички застосовують під час прокладання по одній вулиці газопроводів різного тиску.

Водночас, при використанні катодної поляризації поляризаційні потенціали, що створюються на всій поверхні трубопроводу, за абсолютним значенням повинні відповідати значенням, зазначеним у табл. 5.

Таблиця 5 – Нормовані значення поляризаційних (захисних) потенціалів

Метал трубопроводу	Поляризаційний (захисний) потенціал по відношенню до мідно-сульфатного електроду, що неполяризується, в будь-якому середовищі, В	
	мінімальний	максимальний
Сталь із захисним покриттям	-0,85	-1,1
Сталь без захисного покриття	-0,85	Не обмежується

Вимірювання поляризаційних потенціалів на підземних сталевих трубопроводах здійснюють на спеціально обладнаних контрольно-вимірювальних пунктах. На діючих сталевих трубопроводах, які не обладнані такими пунктами, для вимірювання поляризаційних потенціалів допускається здійснювати катодну поляризацію таким чином, щоб значення потенціалу труби по відношенню до мідно-сульфатного електроду порівняння становили -0,87...-2,5 В.

Катодну поляризацію підземних сталевих трубопроводів проводять так, щоб унеможливити шкідливий її вплив на сусідні підземні металеві споруди [7-10]. Це досягається зменшенням абсолютного значення мінімального потенціалу і збільшенням абсолютного значення максимального захисного потенціалу сусідніх підземних металевих споруд, які раніше не вимагали захисту.

Висновки

Всі підземні сталеві трубопроводи повинні бути захищені від ґрунтової корозії та корозії, що викликається блукаючими струмами.

Заходи щодо захисту від корозії підземних трубопроводів, що будуються, і включення в роботу пристроїв електрохімічного захисту повинні здійснюватися до здачі трубопроводів в експлуатацію, але не пізніше ніж через шість місяців після укладання їх у ґрунт.

Захист підземних сталевих трубопроводів від ґрунтової корозії та корозії, що викликається блукаючими струмами, здійснюється шляхом їх ізоляції від контакту з навколишнім ґрунтом та обмеження проникнення блукаючих струмів з навколишнього середовища та шляхом катодної поляризації металу трубопроводу.

Для зменшення впливу корозії раціонально вибирають трасу трубопроводу, а також використовують різні типи ізоляційних покриттів та спеціальні способи прокладання газопроводів. Підземні сталеві трубопроводи, що прокладаються безпосередньо в ґрунтах з високою корозійною активністю, захищають від ґрунтової корозії за допомогою ізоляційних покриттів та катодної поляризації.

Найбільш поширеним додатковим заходом щодо підвищення технічної і екологічної безпеки є встановлення високочутливих датчиків газу. При накопиченні в повітрі потенційно вибухонебезпечної кількості газу вони подають відповідний сигнал. Це допомагає своєчасно виявити витік, локалізувати його та уникнути аварії. Встановлюють такі датчики у всіх потенційно можливих місцях витоку. Звичайно, відповідна кількість датчиків передбачена технікою безпеки, але додаткові датчики значно підвищують рівень безпеки, що запобігає серйозним аваріям. Крім цього, як додатковий засіб підвищення рівня безпеки можуть використовуватися і портативні датчики газу з автоматичною сигналізацією. Це дозволяє вчасно виявити потенційно небезпечні скупчення

вибухонебезпечного газу, і відповідно запобігти вибуху.

Дотримання правил техніки безпеки, проведення своєчасних технічних оглядів, це два основні заходи підвищення екологічної безпеки, які допомагають уникнути більшості аварій, зберегти людські життя, звести ймовірність аварій і травм до мінімуму та знизити екологічні та економічні втрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-20:2018 Газопостачання. З урахуванням Зміни № 1. *Діючий. Дата прийняття: 15.11.2018.*
2. ДСТУ 4047-2001 Гази вуглеводневі скраплені паливні для комунально-побутового споживання. Технічні умови. З Поправкою (ПС № 3-2007) та Зміною (ПС № 11-2013) *Діючий. Дата прийняття: 27.07.2001.*
3. СОУ 49.2-20077720-001:2014 Налив, зливання та перевезення скраплених вуглеводневих газів у залізничних вагонах-цистернах. Загальні технічні вимоги. *Діючий. Дата прийняття: 13.08.2014.*
4. Наказ від 03.06.2002 № 332 Про затвердження Інструкції про порядок приймання, зберігання, відпуску та обліку газів вуглеводневих скраплених для комунально-побутового споживання та автомобільного транспорту. *Діючий. Дата прийняття: 03.06.2002.*
5. ДНАОП 0.00-1.07.-94 «Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском», К., Держнаглядохоронпраці, 1994 р.
6. ДСП № 201-97 Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць від забруднення хімічними та біологічними речовинами (видання офіційне), К., 1997 р.
7. ВБН В.2.3-00018201.01.01.01-96 Система антикорозійного захисту об'єктів нафтогазового комплексу. Основні положення. Загальні вимоги. К., Державний комітет нафтової, газової та нафтопереробної промисловості України, 1996 р.
8. ДСТУ Б В.2.5-29:2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії
9. ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування. *Недіючий. Дата прийняття: 08.08.2013.*
10. І. В. Васильківський, Т. С. Тітов С. Р. Дідусенко, Вплив газонаповнювальних станцій і пунктів на навколишнє середовище. LV Всеукраїнська науково-технічна конференції підрозділів ВНТУ (ВНТКП ВНТУ), 24–27 березня 2026 р. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2026/paper/view/28414/23670>

Васильківський Ігор Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: igor.vntu@gmail.com

Тітов Тарас Сергійович – канд. хім. наук, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Дідусенко Софія Русланівна – студ. групи ТЗД-226, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: sonyadidusenko05@gmail.com

Igor V. Vasykivskiy – Ph.D., Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: igor.vntu@gmail.com

Taras S. Titov – Ph.D. (Chem.), Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Sofia R. Didusenko – student, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sonyadidusenko05@gmail.com