

Світлана ОСАДЧУК¹, Людмила НИРКОВА¹, Євген БЕСКОРОВАЙНИЙ²

**АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ВІД
КОРОЗІЇ ЩОДО РІВНЯ ЗАХИСНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ ТА ШВИДКОСТІ
ЗАЛИШКОВОЇ КОРОЗІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ**

¹*Інститут електрозварювання НАН України
вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, 03150, Україна. E-mail: svetlanaosadchuk@meta.ua*

²*АТ «Укртранснафта»
вул. Московська, 32/2, Київ, 01010, Україна.*

Svitlana OSADCHUK¹, Lyudmyla NYRKOVA¹, Eugene BESKOROVAINYI²

**DEMANDS' ANALYSIS OF REQUIREMENTS DOCUMENT IN THE FIELD OF
CORROSION PROTECTION CONCERNING THE LEVEL OF PROTECTIVE
POTENTIALS AND RESIDUAL CORROSION RATE OF MAIN PIPELINES**

¹*E.O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine
11, Kazimir Malevich St., Kyiv, 03150, Ukraine. E-mail: svetlanaosadchuk@meta.ua*

²*Joint Stock Company «Ukrtransnafta»
32/2, Moscow St., Kyiv, 01010, Ukraine.*

ABSTRACT

The requirements of the normative documents in the sphere of corrosion protection in relation to the protective potentials and the residual corrosion rate of the main pipelines have been analyzed.

It was shown that the requirements of EN 12954:2001 and NACE SP0169-2013 do not set requirements for the upper limit of the protective potential without an Ohmic component, which is due to the differentiated approach to its selection taking into account the corrosion activity of the surrounding soils.

On the basis of the analysis of requirements of regulatory standards of different countries, analysis of scientific and technical literature and results of experimental researches, the change No. 1 to DSTU 4219 was developed. The change established that for pipelines made of high-strength steels (tensile strength greater than 580 MPa), it is not allowed to maintain the polarization potentials more negative than -1.10 V. The residual corrosion rate of the metal, at which technically sufficiently protective effect is established, namely the corrosion rate of pipeline less than 0,01 mm/year, was corrected.

KEY WORDS: *protective polarization potential, protective potential with IR drop, corrosion rate, residual corrosion rate, pipelines.*

ВСТУП

Підземні сталеві трубопроводи захищають від зовнішньої корозії полімерними та комбінованими покриттями і електрохімічним захистом. Електрохімічний захист застосовують для зниження швидкості корозії стінки труби до мінімально допустимого рівня у разі порушення суцільності захисного покриття.

Згідно з EN 12954, пункт 4.2 [1], захисним потенціалом вважають «потенціал метал-електроліт», за якого швидкість корозії становить менше 0,01 mm/year. В NACE SP0169, пункт 6.1.1 [2], прийнятим критерієм контролю зовнішньої корозії є зниження швидкості корозії до 0,025 mm/year і менше.

Під час обстеження корозійного стану магістральних газопроводів для оцінювання стану їх електрохімічного захисту застосовують певні критерії. Ці критерії теоретично і експериментально обґрунтовані та наведені в нормативних документах в сфері захисту від корозії різних країн.

Серед них найважливішими є значення потенціалів захищеної споруди, а саме:

- мінімальний захисний потенціал;
- максимальний захисний потенціал.

У нормативній і довідковій літературі наведено ще декілька критеріїв, які можна застосовувати в складних ситуаціях, зокрема, мінімальне захисне зміщення потенціалу (мінімальна поляризація).

В.В. Красноярський отримав теоретичне співвідношення, яке дозволило оцінювати ступінь захисту споруди залежно від катодного зміщення потенціалу (поляризації) та запропонував формулу [3]:

$$\Delta E_{prot.min} = -0,059 \lg(j_{cor} / j_a), \quad (1)$$

де $\Delta E_{prot.min}$ – мінімальне захисне зміщення потенціалу, V;

j_{cor} – густина струму корозії без катодного захисту;

j_a – гранично допустима густина струму корозії при катодному захисті.

Так, для зниження швидкості корозії в 100 разів, тобто для виконання умови $j_{cor} / j_a = 100$, треба змістити потенціал споруди на 0,118 V:

$$\Delta E_{prot.min} = -0,059 \lg 100 = -0,118V. \quad (2)$$

У NACE SP0169 [2] наведено такі значення $\Delta E_{prot.min}$ для захисту сталевих споруд:

- -0,1 V – (NACE SP0169, пункт 6.2.1.2);
- -0,3 V – в кислих ґрунтах або за дії сульфат-редуючих бактерій (NACE SP0169, пункт 6.2.1.4).

Перший з цих критеріїв, обґрунтований теоретично, і, як було зазначено вище, є достатнім поляризаційним зміщення потенціалу сталі, що забезпечує зниження швидкості корозії приблизно у 100 разів.

Другий критерій враховує не тільки поляризаційну, але й омичну складову зміщення потенціалу:

$$\Delta E_{prot.min} = \Delta E_{pol.min} + \Delta E_{Ohm.min} \quad (3)$$

Зважаючи на те, що для захисту достатньо $\Delta E_{prot.min} = -0,1V$, при застосуванні значення $\Delta E_{prot.min} = -0,3V$, як критерію захисту, омична складова не перевищуватиме $\Delta E_{prot.min} = -0,2V$ [3].

Згідно з термінологією ДСТУ 4219 [4]:

- мінімальний захисний потенціал – мінімальне (за абсолютною величиною) значення потенціалу, що встановлюють на трубопроводі залежно від умов його прокладання, яке забезпечує зниження швидкості корозії зовнішньої стінки трубопроводу до технічно допустимого рівня (менше 0,01 mm/year);

- максимальний захисний потенціал – максимальне (за абсолютною величиною) значення потенціалу, що забезпечує зниження швидкості корозії зовнішньої стінки трубопроводу до технічно допустимого рівня (менше ніж 0,01 mm/year) без негативного впливу на метал та захисне покриття.

Мінімальний захисний потенціал є загальновизнаним у світовій практиці критерієм захисту, який приймають рівним $E_{prot.min} = -0,85V$ (за мідносульфатним електродом порівняння). Вченими експериментально доведено, що при такому захисному потенціалі швидкість корозії стає настільки малою, що нею можна знехтувати. Цей критерій використовували до 60-х років минулого століття. В порядку його уточнення до нього додали термін поляризаційний, що призвело до досить суттєвих змін в методиці вимірювання захисних потенціалів. Треба було обов'язково виключити, як похибку, омичну складову при всіх польових вимірюваннях на підземних трубопроводах. При виконанні таких умов виникають деякі протиріччя. Дійсно, мінімальний захисний потенціал є сума мінімального захисного зміщення потенціалу неізолюваної поверхні $\Delta E_{pol.min} = -0,1V$ і стаціонарного потенціалу E_{st} , тобто

$$E_{prot.min} = \Delta E_{prot.min} + E_{st}. \quad (4)$$

Наприклад, для підземного сталевих трубопроводу фактичні значення E_{st} , які визначаються фізико-хімічними властивостями оточуючого ґрунту знаходяться в діапазоні від -0,4 до -0,75 V, прийнятний мінімальний захисний поляризаційний потенціал може знаходитися в границях від -0,5 до -0,85 V. Тому вибір мінімального захисного поляризаційного потенціалу -0,85 V, як єдиного критерію захисту скоріше пов'язаний зі стандартизацією та уніфікацією. При прагматичному підході вибір критерію захисту може бути іншим. Проблема виділення поляризаційної складової і виключення омичної має практичне значення, що пов'язано не тільки з надійністю захисту, а й зі зниженням витрат на електроенергію. Як показали результати досліджень [3], цілком допустимо зниження мінімального захисного потенціалу до рівня, наприклад, -0,75 V.

Необхідність обмеження захисного потенціалу, тобто введення максимального захисного потенціалу $E_{prot.max}$, як критерію захисту, також не може розглядатися безальтернативно. Безумовно, було б ідеальним, для економії енергії заполяризувати весь трубопровід, що захищається, лише до рівня мінімального захисного потенціалу. Однак, розподіл потенціалу в трубопровідній мережі неоднорідний, зокрема, поблизу анодних заземлювачів густина струму захисту завжди більша і, отже, більша різниця потенціалів труба-земля. Мінімальний захисний потенціал підтримують, як правило, на границях зони дії установок електрохімічного захисту [3].

Мета статті полягала у проведенні аналізу вимог нормативних документів у сфері захисту від корозії щодо захисних потенціалів та швидкості залишкової корозії магістральних трубопроводів для розроблення відповідних положень зміни до ДСТУ 4219.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Нормативні документи (НД), що стосуються питань активного протикорозійного (електрохімічного) захисту підземних металевих споруд України, СНД, країн Євросоюзу, США рекомендують проводити контроль захищеності підземних металевих споруд, в першу чергу, за критерієм поляризаційного потенціалу (який вимірюють при відключенні всіх засобів електрохімічного захисту, які можуть впливати на ділянку, що обстежується).

Нижче обговорюватимуться вимоги НД різних країн щодо захисних потенціалів поляризаційного та з омичною складовою.

Вимоги до захисних потенціалів, що пропонують національні та зарубіжні НД, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Аналіз вимог щодо нормованих значень захисних потенціалів сталевих трубопроводів згідно з НД
Table 1. Analysis of requirements for normalized values of protective potentials of steel pipelines according to regularities standarts

Нормативний документ	Мінімальний, V		Максимальний, V	
	поляризаційний	з омичною складовою	поляризаційний	з омичною складовою
ДСТУ 4219-2003 [4]	від -0,85 до -1,05	від -0,90 до -1,20	від -1,10 до -1,15	від -1,50 до -3,5
ГОСТ Р 51164-98 [5]	від -0,85 до -0,95	від -0,90 до -1,05	від -1,10 до -1,15	від -1,50 до -3,5
ГОСТ 9.602-2016 [6]	від -0,85 до -0,95	від -0,90 до -1,05	від -1,10 до -1,20	від -2,50 до -3,5
ГОСТ 9.602-2005 [7]	-0,85	-0,90	-1,15	від -2,50 до -3,5*
ДСТУ Б В.2.5-29:2006 [8]	-0,85	від -0,9 до -0,95	-1,15	від -2,50 до -3,5
EN 12954 [1]	від -0,65 до -0,95**	-	-	-
NACE SP0169 [2]	-0,85	-	-	-

Примітка.
*Для діючих сталевих трубопроводів до їх реконструкції та за відсутності можливості вимірювати поляризаційні потенціали залежно від конструкції захисного покриття.
**За температури $40\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ захисний потенціал може інтерполюватися.

Відмічено, що в різних НД нормовані значення захисних потенціалів відрізняються.

Вимоги до показників електрохімічного захисту – захисних потенціалів поляризаційних та з омичною складовою, наведені в ДСТУ 4219 та ГОСТ Р 51164, в основному схожі.

Мінімальний захисний потенціал поляризаційний в цих НД обмежений значенням $-0,85$ V. Однак, залежно від умов експлуатації, регламентовані значення мінімального поляризаційного захисного потенціалу для сталевих споруд згідно з ДСТУ 4219 знаходяться в діапазоні від $-0,85$ до $-1,05$ V, згідно з ГОСТ Р 51164 – від $-0,85$ до $-0,95$ V, табл. 1. Також в ГОСТ Р 51164 (табл. 4), відмічено, що для трубопроводів з температурою транспортованого продукту 278 K (5 °C) мінімальний захисний поляризаційний потенціал може дорівнювати $-0,80$ V.

Захисний потенціал з омичною складовою мінімальний встановлюється згідно з ДСТУ 4219 в межах від $-0,90$ до $-1,20$ V, згідно з ГОСТ Р 51164 – від $-0,90$ до $-1,15$ V (для високоомних ґрунтів його значення запропоновано визначати експериментально). Згідно з пунктом 5.8 ГОСТ Р 51164 при здійсненні електрохімічного захисту ділянки трубопроводу, пошкодженої корозією (більше 10 % товщини стінки), мінімальні захисні потенціали повинні бути на $0,050$ V від'ємніше значень, наведених в 5.1 вищенаведеного НД.

В EN 12954 для трубопроводів зі сталей з границею текучості не більше ніж 800 МПа значення потенціалів з омичною складовою не обмежуються. Єдиною умовою є підтримування мінімального захисного поляризаційного потенціалу відповідно до умов прокладання трубопроводу, а саме – від $-0,65$ V до $-0,95$ V. В стандарті є коментар (примітка 2, табл.1 [1]), що за період експлуатації конструкції слід враховувати всі можливі зміни питомого опору середовища навколо конструкції.

Максимальний захисний потенціал поляризаційний відповідно до ДСТУ 4219 та ГОСТ Р 51164 встановлюється $-1,15$ V, окрім випадків для високоміцних сталей з границею міцності понад 600 МПа (для яких це значення нормується на рівні $-1,10$ V). На основі результатів наукових досліджень, даних обстежень магістральних трубопроводів, практичного досвіду експлуатації і даних літератури зміною до ДСТУ 4219 встановлено, що для трубопроводів зі сталей з підвищеною міцністю (з границею міцності понад 580 МПа) не допускають підтримування поляризаційних потенціалів більш негативних ніж $-1,10$ V (табл. 6, примітка 2).

В ГОСТ 9.602-2005 для підземних споруд нормовано максимальний поляризаційний захисний потенціал $-1,15$ V для всіх видів трубопроводів. В новій редакції ГОСТ 9.602-2016 встановлено діапазон значень максимальних поляризаційних потенціалів: від $-1,10$ до $-1,20$ V.

Слід зауважити, що максимальні значення поляризаційних потенціалів рекомендується підтримувати для забезпечення захисту трубопроводів прокладених в анаеробних ґрунтах (без доступу кисню) [1, 4, 5] та для трубопроводів, що транспортують середовища з підвищеною температурою [4, 5], а в аеробних піщаних ґрунтах – на рівні мінімальних значень від $-0,65$ до $-0,75$ V [1].

Згідно з ГОСТ Р 51164 на магістральних трубопроводах з бітумною ізоляцією допускається максимальний захисний потенціал з омичною складовою (сумарний) $-2,5$ V, або $-3,5$ V – для трубопроводів з полімерною плівковою ізоляцією. Аналогічні вимоги наведено в ДСТУ 4219. У ґрунтах з високим питомим опором понад 100 Ohm·m дозволяються більш від'ємні потенціали з омичною складовою встановлені експериментально або розрахунковим шляхом відповідно до НД (ГОСТ Р 51164, табл. 5).

В EN 12954 максимальний захисний потенціал з омичною складовою не нормується взагалі і вибирається виходячи з техніко-економічних обґрунтувань при проектуванні захисту.

Відсутність потреби нормування величини максимального захисного потенціалу з омичною складовою (сумарного) може бути обґрунтовано наступним чином. При великих струмах поляризації і, отже, великих захисних потенціалах відбувається розклад ґрунтового електроліту та виділяється газоподібний водень. Проникаючи в пори ізоляції, він здатний збиратися в пухирі і створювати тиск, під дією якого може відбуватися відшарування ізоляції, що є основною небезпекою, викликаною застосуванням великих від'ємних потенціалів. За даними [3] активне виділення водню починається при захисному потенціалі від'ємніше $-1,0$ V (м.с.е.). Потенціал цього початку виділення водню не перевищує $-1,15$ – $-1,2$ V, оскільки густина катодного струму в реальних умовах не перевищує 10 A/m² [3]. Тому поляризаційний потенціал підземного трубопроводу фактично не може бути від'ємніший величини $-1,2$ V. Тобто якщо в реальних умовах електрохімічного захисту захисний потенціал з омичною

складовою знаходиться в межах від -1,5 до -4,0 V, то поляризаційна складова буде практично однаковою. У стандартах країн СНД використовують саме ці значення потенціалу, за яких починається активне виділення водню, для обмеження верхньої границі максимально допустимого значення захисного поляризаційного потенціалу, табл. 1 [3].

Таким чином, вимоги щодо значення мінімального захисного потенціалу поляризаційного однакові у всіх стандартах, тобто -0,85 V.

На відміну від ДСТУ 4219 та ГОСТ Р 51164, вимоги до значень захисних потенціалів з омичною складовою в EN 12954 та NACE SP0169 відсутні.

Але згідно з EN 12954, якщо перехідний електричний опір покритву менше ніж $10^8 \text{ Ohm}\cdot\text{m}^2$, то для мінімізації будь-яких негативних наслідків поляризаційні потенціали не повинні бути більш негативними, ніж потенціал -1,1 V відносно мідносульфатного електрода порівняння за винятком випадків, коли виробник покритву вказує в документах інше значення. Дуже від'ємні потенціали можуть сприяти відшаруванню покриттів у місцях його пошкодження.

Треба зауважити, стабільність визначення потенціалу за допомогою електродів порівняння згідно з ГОСТ 17792 [9] знаходиться в межах $\pm 15 \text{ mV}$ (ГОСТ 9.602-2016, табл.4).

Мінімальне захисне зміщення потенціалу як критерій, окрім NACE SP0169, згадується в ГОСТ 9.602-2016, пункт 8.1.20. Відмічено, якщо забезпечення захисних потенціалів на рівні від -0,85 V до -1,15 V на діючих трубопроводах, що транспортують середовища температурою не вище 40 °C і тривалий час перебували в експлуатації в корозійно-небезпечних умовах, економічно недоцільно, за погодженням з проектною організацією і організацією, що обстежує, допускається застосовувати, як мінімальний поляризаційний захисний потенціал трубопроводу, на 100 mV від'ємніше стаціонарного потенціалу, але не менше ніж -0,65 V за абсолютним значенням. Аналогічні вимоги щодо мінімальних захисних потенціалів наведені в ДСТУ Б В.2.5-29, пункт 8.1.7.

Вищезазначені НД, крім ДСТУ 4219 [4], не містять характеристик корозійної активності середовища відносно металу трубопроводу за показником швидкості корозії МГ, табл. 2.

Таблиця 2. Корозійна активність середовища стосовно металу трубопроводу [4]
Table 2. Corrosivity of the environment against pipeline metal [4]

Корозійна активність середовища	Швидкість корозії металу, mm/year
Низька	До 0,01
Середня	Від 0,01 до 0,30
Висока	Понад 0,30

Як витікає з аналізу вищенаведеного матеріалу захисний потенціал, що забезпечує швидкість корозії менше 0,01 mm/year, є достатнім, оскільки швидкість корозії металу за таких умов низька, що підтверджується даними табл. 2 та дослідженнями [10]. Тому зміна до ДСТУ 4219 коригує пункт 3.2.11, тобто, замінює значення 0,001 mm/year на 0,01 mm/year.

Багаточисельні дані щодо швидкості різних видів корозії, яких може зазнавати стінка підземних трубопроводів, що пролягають у різних регіонах вказують здебільшого на високу корозійну активність середовищ [11]:

- при ґрунтовій корозії – 0,2-1,2 mm/year;
- при корозії від блукаючих струмів – 0,5-10,0 mm/year;
- при руйнуванні від дії корозійних пар – 0,3-1,5 mm/year;
- при мікробіологічній корозії – 0,2-0,7 mm/year;
- при корозійному розтріскуванні зі швидкістю росту глибини тріщин 0,5-2,5 mm/year при розвитку їх геометричної протяжності від 25 до 150 mm/year (в'язкі і крихкі тріщини).

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані нормативні документи у сфері захисту від корозії щодо нормованих значень показників захисних потенціалів. У стандартах країн СНД значення мінімального захисного поляризаційного потенціалу нормуються в діапазоні від -0,85 V до -1,05 V у європейських – від -0,65 V до -0,95 V. У європейському і американському стандартах максимальний поляризаційний потенціал не нормують, на відміну від стандартів країн СНД, в яких допускається підтримувати його в межах від -1,10 V до -1,2 V.

2. Показано, що у європейських стандартах відсутні вимоги до верхньої границі захисного потенціалу без омичної складової, що обумовлено диференційованим підходом до його вибору з урахуванням корозійної активності оточуючих ґрунтів.

3. Зміна № 1 до ДСТУ 4219 встановлює:

- для трубопроводів зі сталей з підвищеною міцністю (границя міцності понад 580 МПа) не допускають поляризаційні потенціали більш негативні ніж $-1,10\text{ V}$;

- технічно достатнім є захисний ефект, за якого швидкість корозії металу трубопроводу менше ніж $0,01\text{ mm/year}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. EN 12954:2001 Cathodic protection of buried or immersed metallic structures. General principles and application for pipelines.
2. NACE SP0169-2013 Standard Practice. Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.
3. Ткаченко В. Н. Электрохимическая защита трубопроводных сетей / Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 2004. – 320 с.
4. ДСТУ 4219-2003 Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії.
5. ГОСТ Р 51164-98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии.
6. ГОСТ 9.602-2016 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
7. ГОСТ 9.602-2005 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
8. ДСТУ Б В.2.5-29:2006 Зовнішні мережі та споруди. Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії.
9. ГОСТ 17792-72. Электрод сравнения хлорсеребряный насыщенный образцовый 2-го разряда.
10. Відношення струму катодного захисту до граничного дифузійного як додатковий критерій катодного захисту / Л.І. Ниркова, С.О. Осадчук, А.В. Клименко, А.О. Рибаків, С.Л. Мельничук // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2019. – № 2(47). – С. 23–31.
11. Притула В.В. Коррозионная ситуация на газонефтепроводах России и их промышленная безопасность // Трубопроводный транспорт. Теория и практика. – 2015.– № 2, (48). – С. 6–10.