

УДК 621.643

Л. Побережний, докт. техн. наук; Г. Присліпська

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ВПЛИВ ЗМІННОГО СТРУМУ НА ШВИДКІСТЬ ЗОВНІШНЬОЇ КОРОЗІЇ МАТЕРІАЛУ ТРУБОПРОВОДУ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЮ КОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ХЛОРИДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Резюме. На даний час розподільчі газопровідні мережі здебільшого знаходяться на середній та пізній стадії експлуатації, а їх пасивний протикорозійний захист часто не відповідає сучасним вимогам. Спостерігаються, найчастіше в межах населених пунктів, прояви значної локалізації та прискорення корозійних процесів. Однією із причин експлуатуючі організації бачать зумисну (крадіжка електроенергії) або незумисну (неправильно виконані електромонтажні роботи) дію змінного струму. В нормативних документах гранично допустимою прийнято густина струму 10 А/м². Однак при такій густині зафіксовано низку глибоких корозійних уражень на газопроводах. Створено експериментальну установку для вивчення впливу густини струму та хімічного складу середовища на характер корозійних процесів матеріалу газопроводів. Встановлено деякі закономірності розвитку корозійних процесів трубопроводної сталі в середовищах електролітів під дією змінного струму у хлоридних середовищах. Визначено його вплив на швидкість та характер корозійних уражень матеріалу трубопроводу. Згідно з експериментальними даними при значенні густини струму, меншому за гранично допустиму, швидкість корозії становить 14%. Доведено необхідність актуалізації нормативних документів у бік зменшення гранично допустимої густини струму та проведення досліджень у ширшому діапазоні модельних електролітів.

Ключові слова: блукаючий струм, густина струму, ґрунтовий електроліт, електрокорозія, розподільчі газопроводи.

L. Poberezhny, G. Pryslipska

INFLUENCE OF AC ON THE PIPELINE MATERIAL FOREIGN CORROSION RATE AND LOCALISATION OF CORROSION IN THE CHLORIDE ENVIRONMENTS

Summary. Most of accidents and failures of gas and oil pipelines are the result of corrosion. Corrosion in environments with high corrosion activity and under the influence of stray induced currents reduces the life time of our pipelines. Nowadays the distribution pipeline network are mostly in the middle and late stage of operation, and their passive corrosion protection often does not meet modern requirements. Often within cities and other populated localities considerable localization and corrosion processes acceleration are observed. In the regulations adopted maximum allowable current density is 10 A/m². However, at this current density a number of deep corrosive damages on pipelines was recorded. The main reasons for alternating current leakage on the pipelines are: unprofessional operation of the existing power supply system, such as the use of gas as zero working conductors, lack of isolation of gas injected into the facilities; incorrect connection of electricity to consumers (gas boilers, gas cookers), which connect the pipeline system with the system power supply, damage while operation of cable lines and electrical equipment in the pipeline area, the use of gas pipelines as a grounding for stealing of electricity. Laboratory installation for studying the influence of current density and chemical composition of the medium on the nature of the material pipeline corrosion processes was made. Some regularities of the pipeline steel corrosion processes under alternating current in chloride environments were found. Its effect on the rate and nature of the corrosion damage pipeline material was found. Even when the current density is below the maximum allowable, the growth of the corrosion rate is 14%. The necessity of updating regulations towards the reducing the maximum allowable current density and conducting research in a wider range of model electrolytes has been proved.

Key words: stray current, current density, soil electrolyte, electrocorrosion, distribution pipelines.

Вступ. Трубопровідний транспорт є найбільш динамічною підгалуззю транспорту України, який стабільно нарощує свою частку в загальному обсязі транспортування

природних вуглеводнів, випередивши при цьому постійного лідера – залізничний транспорт. Зупинки газо- та нафтопроводів ставлять під загрозу економічну та енергетичну безпеку нашої держави, зменшуючи її привабливість як надійного транзитера енергоресурсів з Росії (85%) та Туркменистану (5%) до країн ЄС. Перерва у безперебійному забезпеченні природним газом промислових об'єктів призводить до зниження економічних показників держави, а також добробуту та високого рівня життя населення країни.

Значна частина аварій та відмов газо- та нафтопроводів є наслідком корозії. Корозія у середовищах з підвищеною корозійною активністю та під впливом блукаючих і наведених струмів зменшує безпечний термін експлуатації трубопровідного транспорту.

Під блукаючими струмами в теперішній час розуміють не тільки постійні, але й змінні струми, що протікають у колі «підземна споруда – ґрунт». Найменш вивченим є питання впливу змінних струмів, у тому числі й струмів промислової частоти, на кінетику корозійних процесів. А струми частотою 50 Гц є найбільш можливим видом блукаючих струмів, оскільки їх джерелами є силові установки систем електропостачання (СЕР) електрифікованих залізниць. Основними причинами виникнення змінних струмів натікання і потрапляння їх на газопроводи є: непрофесійна експлуатація діючої системи електропостачання, наприклад, використання газопроводів у якості нульових робочих провідників; відсутність ізоляції газових ввідів у споруди; некоректне під'єднання електроспоживачів (газові котли, газові плити з електророзпалом), які зв'язують газопровідну систему з системою електропостачання; пошкодження в процесі експлуатації кабельних ліній і/або електрообладнання в зоні пролягання газопроводів; застосування газопроводів у якості заземлювача при крадіжці електричної енергії.

Про руйнівну здатність таких струмів можна робити висновок згідно з даними: струм силою в 1 А за годину руйнує 9 кг заліза, 11 кг цинку і міді, 34 кг свинцю, 3 кг алюмінію, а радіус дії блукаючих струмів становить десятки кілометрів, збільшуючи тим самим небезпеку такого виду корозії [1].

Визначальним критерієм для оцінювання корозійної активності змінного струму є густина струму. Згідно з нормативними документами для трубопроводів «критичною» величиною можна вважати струм густиною 10 А/м².

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальна теорія електрохімічної корозії металів [2] виділяє електрокорозію, яка відбувається в ґрунті під дією постійного струму та свідчить про незначний вплив змінного струму на процеси корозії. У матеріалах [3, 4, 5] стверджується про помітний вплив змінного струму на корозію трубопроводів. Експериментальна перевірка цих протиріч представлена у роботі [6]. Автори дослідили вплив змінного струму на процеси ґрунтової корозії в середовищах із різними значеннями рН. За результатами досліджень зроблено висновки, що при малих значеннях напруги масові втрати зразків під напругою практично не відрізняються від масових втрат для зразків без напруги, а при збільшенні напруги корозія стає значно помітнішою. Візуальний огляд досліджуваних зразків теж підтвердив дану тенденцію. Крім того, визначено, що найбільш корозійно активними є середовища зі значеннями рН < 7. Проте на даний час вплив змінного струму на корозію трубопроводів в експлуатаційних середовищах вивчено недостатньо.

Метою даної роботи є вивчення впливу змінного струму на швидкість корозії матеріалу трубопроводу та локалізацію корозійних процесів у хлоридних середовищах.

Методика досліджень. Для проведення експерименту була створена експериментальна установка, зображена на рис. 1.

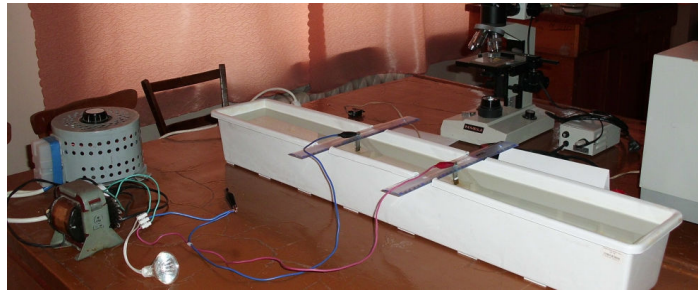


Рисунок 1. Експериментальна установка для визначення швидкості корозії в агресивних середовищах під впливом змінного струму

Figure 1. Experimental setup for determining the rate of corrosion in aggressive environments influenced by AC

Установку підключали до мережі 220 В і з допомогою двох перетворювачів (трансформатора ТМ-56 та ЛАТРа LTC-500) у колі задавали напругу, яка відповідала необхідній густині струму. Електрична схема установки зображена на рис. 2.

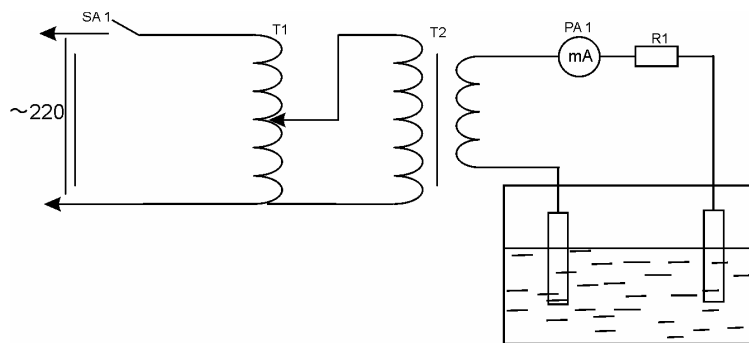


Рисунок 2. Принципова схема установки для визначення швидкості корозії в агресивних середовищах під впливом змінного струму

Figure 2. Fundamental setup for determining the rate of corrosion in aggressive environments influenced by AC

Зразки, виготовлені зі стінки труби $\varnothing 57$ мм (сталь СТ3), розміром 10x50x3 мм, попарно занурювали на глибину 2 см у розчини хлоридів відповідної концентрації (модельне середовище). Відстань між зразками становила 20 см. Модельні середовища (табл. 1) підбирали на основі даних про склад ґрунтових електролітів [7].

Таблиця 1

Склад модельних середовищ для корозійних випробовувань

№ з/п	Модельне середовище	NaCl концентрація, моль/л
1	МС 1	0,01
2	МС 2	0,05
3	МС 3	0,1

Паралельно з дослідженнями корозійних процесів при змінному струмі проводилися дослідження на зразках, які не піддавалися впливу змінного струму (контрольні зразки). Час експозиції зразків під впливом струму і контрольних зразків у модельних середовищах становив 168 год.

Оцінювання швидкості корозії проводили гравіметричним методом. Для цього із прокородованих зразків повністю знімали продукти корозії, визначали площу кожного зразка і зважували їх на демпферній аналітичній вазі з точністю вимірювання 0,00005 г. Результати зважувань зразків після експерименту порівнювали із результатами зважувань після експерименту та на основі отриманих даних проводили відповідні розрахунки. Для характеристики зовнішніх змін зразків використовували мікроскопи МЕІІ та BW1008-500X/QX 500.

Результати та їх аналіз. Експериментальні дослідження проводили в два етапи. На першому етапі вивчали вплив змінного струму густиною 10 A/m^2 в модельних середовищах 1 – 3. На другому – закономірності корозійних втрат матеріалу трубопроводу при збільшенні густини струму.

Аналіз результатів першого етапу показав (рис. 3), що під дією струму у модельних середовищах 1 – 3 швидкість корозії зростає і становить 17%, 23% та 45% відповідно. Таку закономірність можна пояснити тим, що без впливу струму на поверхні зразка утворюються пасивні плівки та адсорбуються продукти корозії, які сповільнюють корозійні процеси. При корозії під змінним струмом [7] швидкість корозії є більшою внаслідок розчинення металу в катодний півперіод часу та руйнування захисного шару на поверхні металу йонами хлору в анодний період часу.

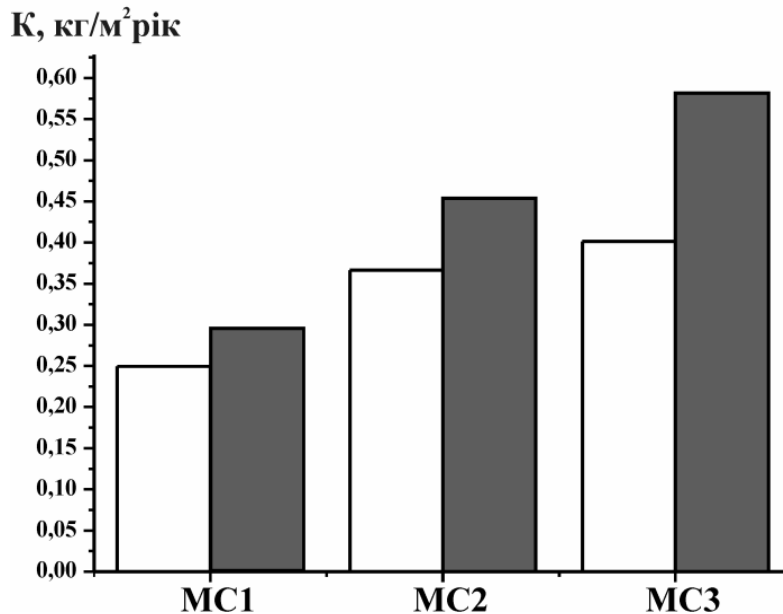


Рисунок 3. Зміна швидкості корозії контрольних зразків та зразків під дією струму 10 A/m^2 у MC1-MC3
 ■ – зразок під дією струму, □ – контрольний зразок

Figure 3. Influence of AC on speed of corrosion in ME1-ME3
 ■ – change of rate under current, □ – reference spesimen

Можна сказати про необхідність внесення змін у нормативні документи, оскільки при гранично допустимій густині струму 10 A/m^2 навіть у слабкокцентрованих електролітах збільшення швидкості корозії становить 17%. Тому необхідно вивчати закономірності зміни швидкості корозії при густинах струму, які є меншими за гранично допустиму.

Результати другого етапу досліджень дали змогу встановити загальні закономірності впливу йонної сили електроліту та густини струму на швидкість та характер корозійних процесів (табл. 2, рис. 4).

Таблиця 2

Показники приросту швидкості корозії матеріалу трубопроводу
в хлоридних середовищах залежно від йонної сили

№ з/п	Густина струму, А/м ²	Йонна сила		
		0,01	0,05	0,1
		Зміна швидкості, %		
1	5	9,24	10,78	13,6
2	10	17,85	23,81	44,98
3	15	38,59	38,92	50,0
4	20	49,09	50,08	56,0

Графічний аналіз отриманих результатів показав істотний вплив йонної сили електроліту на характер і швидкість корозійних процесів.

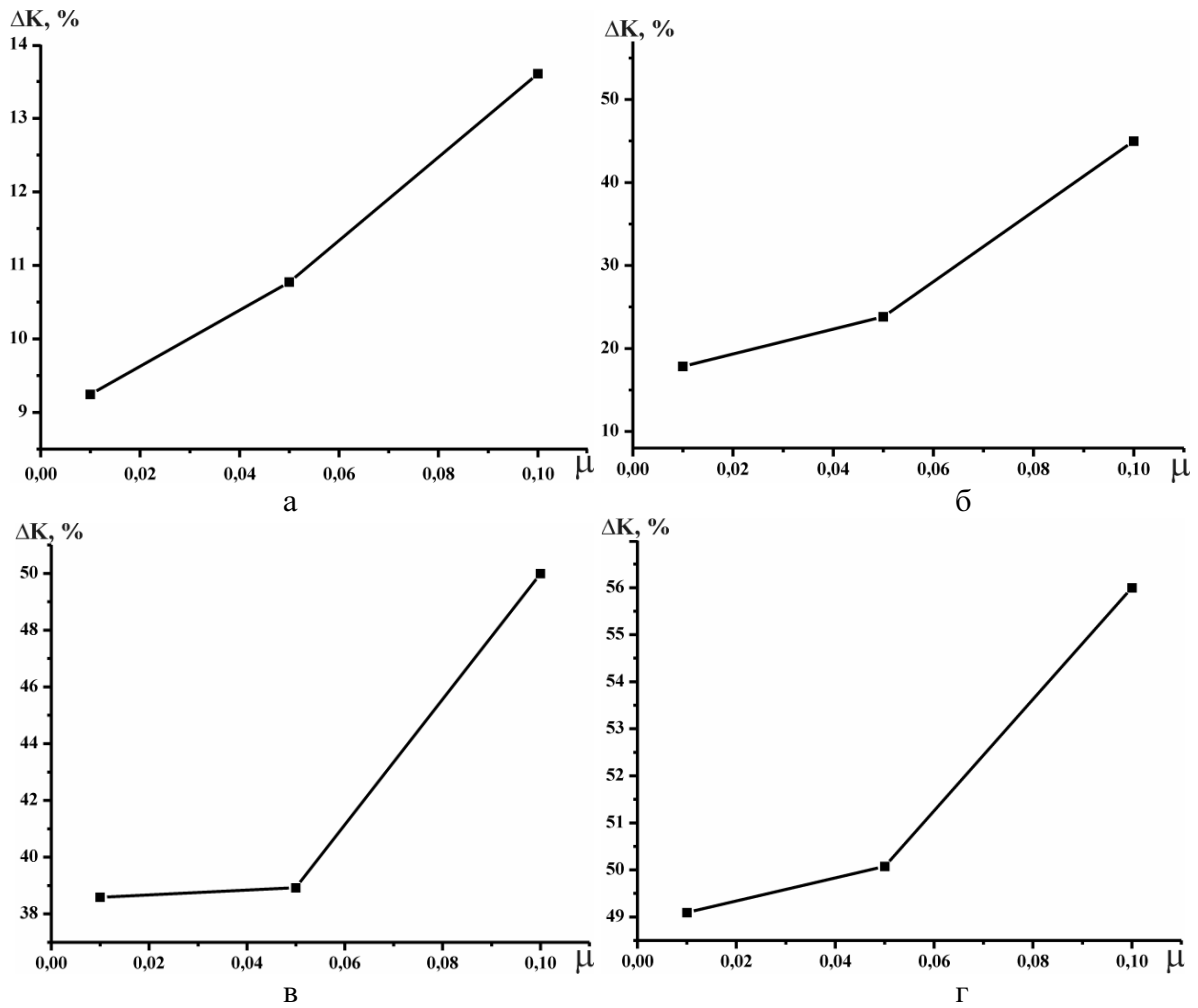


Рисунок 4. Приріст швидкості корозії при різних значеннях густини струму залежно від йонної сили
а – густина струму 5 А/м², б – густина струму 10 А/м²,
в – густина струму 15 А/м², г – густина струму 20 А/м²

Figure 4. Increase the corrosion rate for different values of the density current depending on the ionic strength
а – 5 А/м² current density, б – current density 10 А/м²,
в – current density 15 А/м², г – current density 20 А/м²

При густині струму навіть вдвічі меншій за нормативно небезпечну (5 A/m^2) спостерігається приріст швидкості до 14%, який носить практично лінійний характер, що свідчить про небезпеку активізації корозійних процесів у високомінералізованих середовищах (рис. 4а). При показниках густини струму 10, 15 та 20 A/m^2 спостерігаємо значну інтенсифікацію корозійних процесів в області середньо- та високомінералізованих розчинів (рис. 4б, в, з). Аналіз графічних залежностей при густині струму 20 A/m^2 показав, що контролюючим чинником у даному випадку є електропровідність середовища, що зумовлює перелам кривої на границі переходу до середньо- та високомінералізованих розчинів. З абсолютних величин приросту швидкості корозії впливає необхідність перегляду величини гранично допустимої густини струму, якою можна нехтувати при оцінюванні швидкості корозійного руйнування стінки труби. Особливо небезпечною тут видається внутрішньотрубна корозія, зумовлена попаданням ґрунтового електроліту через наскрізні корозійні ураження. Такий електроліт, випаровуючись, збільшує свою мінералізацію, а, отже, і ризики поширення внутрішньотрубних дефектів точкового виду. Не менш небезпечною є й імовірність розгерметизації внаслідок зовнішньої корозії в місцях відшарування захисного покриття. Тут теж відбуватиметься випаровування електроліту і відповідно збільшення його електропровідності. Крім того, в таких місцях утворюватиметься зона періодичного змочування, а продукти корозії далі відшаровуватимуть покриття, збільшуючи таким чином площу ураження.

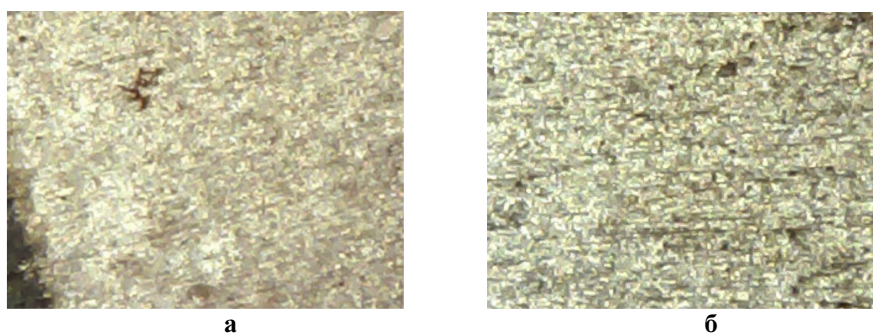


Рисунок 5. Поверхня контрольного зразка (а) та зразка під дією струму (б)

Figure 5. The surface of the control sample (a) and the sample under current (б)

Порівняльний аналіз поверхні зразків свідчить (рис. 5), що вплив змінного струму призводить до збільшення локалізації корозійних процесів, причому зростання його густини цей процес додатково інтенсифікує. Такий характер корозійних уражень підтверджує тезу про високий ризик виникнення наскрізних уражень на розподільчих газопроводах, особливо беручи до уваги їх невелику товщину стінки.

В подальшому необхідно вивчити вплив рН середовища на закономірності електрокорозійних процесів, а також розширити компонентний склад досліджуваних середовищ.

Висновки. Проведено дослідження впливу змінного струму на швидкість корозії матеріалу трубопроводів в електролітах. Встановлено деякі закономірності впливу йонної сили електроліту та густини струму на швидкість і характер корозійних уражень матеріалу трубопроводу. Доведено необхідність актуалізації нормативних документів у бік зменшення гранично допустимої густини струму та проведення досліджень у ширшому діапазоні модельних електролітів.

Conclusions. Influence of AC on the corrosion rate of pipelines material in electrolytes was investigated. Some regularities of ionic strength of the electrolyte and the current density of the rate and nature of pipeline material corrosion damages were found. The necessity of updating the regulations to decrease the maximum allowable current density and further researches in a wider range of model electrolytes was proved.

Список використаної літератури

1. Малахов, А.И. Основы металловедения и теории коррозии: учебник для машиностроительных техникумов [Текст] / Л.И. Малахов, А.П. Жуков. – М.: Высш. школа, 1978. – С. 192.
2. Улиг, Г.Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику [Текст] / Г.Г. Улиг, Р.У. Ревн. – Л.: Химия. – 1989. – С. 456.
3. Guide on the influence of high voltage AC power systems on metallic pipelines. Working Group 36.02: CIGRE, April 1995. – 68 p. Appendix. References.
4. AC corrosion on metallic pipelines due to interference from AC power lines. Joint Working Group C4.2.02: CIGRE, April 2006. – 110 p.
5. Корнеев, З. Экспериментальное определение влияния переменного тока на коррозию стальных трубопроводов [Текст] / З. Корнеев, А. Мюльбаер // Энергетика: экология, надежность, безопасность. Труды XII Всероссийского студенческого научно-технического семинара. Т. 1. Электроэнергетическое направление. – Томск: ТПУ. – 2010. – С. 293.
6. Михайловский, Ю.Н. Коррозия металлов под действием переменного тока в электролитических средах [Текст] / Ю.Н. Михайловский // Труды третьего международного конгресса по коррозии металлов. – Т. 2. – М.: 1968. – С. 500 – 508.
7. Побережний, Л.Я. Полікритеріальна оцінка корозійної активності середовища як елемент підвищення надійності магістральних газопроводів [Текст] / Л.Я. Побережний, А.І. Станецький // Нафтова і газова промисловість. – 2011. – №2. – С. 38 – 40.

Отримано 13.08.2013