

УДК 621.643

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

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ЕЛЕКТРОКОРОЗІЙНА ДЕГРАДАЦІЯ ГАЗОПРОВІДІВ У ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ ГРУНТАХ

Резюме. Розроблено установку для моделювання корозії під впливом змінного струму в середовищах, які відповідають основним типам ґрунтових електролітів. Вивчено швидкість уточнення стінки трубопроводу в модельних середовищах різного складу при впливі змінного струму в діапазоні від 5, 10, 15, 20 А/м². На основі експериментальних даних побудовано графічні залежності, аналіз яких показав, що на трубопроводах з товщиною стінки 5 мм під впливом змінного струму наскрізні корозійні ураження можуть утворитися через 6 – 8 років. Показано підвищені ризики розгерметизації внаслідок локалізації електрокорозійних процесів у хлоридно-сульфатних середовищах. Експериментально доведено необхідність внесення змін до нормативних документів України в частині зменшення рівня допустимої густини наведеного струму. Візуальний огляд уражених поверхонь експериментальних зразків вказує на локальний характер корозійних пошкоджень. У подальшому необхідно дослідити вплив часу експозиції та періодичності натікання змінного струму на механізм та швидкість корозійних процесів, а також розширити сортамент досліджуваних сталей.

Ключові слова: густина змінного струму, електрокорозія, швидкість утонення стінки, ґрунтовий електроліт.

L. Poberezhnyy, G. Pryslypsk

ELECTROCORROSION DEGRADATION OF GAS PIPELINES IN HIGHLY MINERALIZED SOILS

Summary. Underground pipelines are among the most important technological structures in life of modern society. Providing the continuous work of pipelines with all the features of its operation (application of protective covering, control over work of the cathodic stations, monitoring the state of pipelines) is the primary and essential task of avoiding crashes and failures, which lead to loss of integrity of the pipe.

As a result of imperfections application of protective insulating covering on pipes, the aging of insulation materials, mechanical damages, aggressive environment, the integrity is destroyed and protective covering defects are formed. They may have different shape and size, from small microcracks to large bared metal areas. Because of these defects there is contact with soil electrolyte in the protective metal covering, and at parallel placement of pipelines with AC power source such bared areas are a place of electricity incrustations and the cause of corrosive damage. Via through holes, depending on the pipe diameter, natural gas – methane, which belongs to the greenhouse gases is spread into the atmosphere. So it results in economic (through loss of gas) and environmental damage of nature. The installation for modeling of corrosion under the influence of alternating current in environments, corresponding to basic types of ground electrolytes, has been developed. Rate of the pipe walls thinning in model environments of various compositions under the influence of an alternating current in the range of 5, 10, 15, 20 A/m² has been studied. Based on the experimental data graphical dependence were built, analysis of which showed that the pipes with wall thickness of 5 mm under the influence of an alternating current through-corrosive lesions can be formed in 6-8 years. Increased risks of depressurization as a result of electrocorrosion processes, localization in chloride-sulfate environments are shown. Improvements of the regularities in Ukraine standards dealing with the level of induced current allowable density was experimentally proved. A visual inspection of the damaged surfaces of experimental samples indicates the local nature of corrosion damage. It is necessary to investigate the influence of an exposure time and the frequency of alternating current incrustations on the mechanism and rate of corrosion processes and expand the types of investigated steels in the future.

Key words: AC density, electrocorrosion, wall thinning rate, soil electrolyte.

Постановка проблеми. Підземні трубопроводи є одними з найважливіших технологічних споруд у житті сучасного суспільства. Забезпечення безперебійної

роботи трубопроводного транспорту з урахуванням усіх особливостей його експлуатації (нанесення захисного покриття, контроль за роботою катодних станцій, моніторинг стану трубопроводів) є першочерговою і необхідною задачею уникнення аварій та відмов, що призводять до втрати цілісності труби.

Значна частина аварій (>50 %) на трубопроводах є наслідком перебігу різних форм корозії: загальної корозії, щільної корозії під покриттям, що відшарувалося, точкової корозії, корозійного розтріскування під напруженням тощо. Внаслідок недосконалості нанесення захисного ізоляційного покриття на трубопроводи, старіння ізоляційних матеріалів, механічних пошкоджень, дії агресивного середовища руйнується суцільність захисного покриття та утворюються дефекти. Вони можуть мати різну форму та розміри: від маленьких незначних мікротріщин до великих оголених ділянок металу. Через ці дефекти у захисному покритті відбувається контакт металу з ґрунтовим електролітом, а при паралельному проляганні трубопроводів з джерелами змінного струму такі оголені ділянки є місцем натікання струму та причиною утворення наскрізних корозійних уражень – „свищів“. Через наскрізні отвори, залежно від діаметра труби, в атмосферу потрапляє природний газ – метан, який належить до парникових газів. Таким чином, наноситься економічна (через втрати газу) та екологічна шкода навколишньому природному середовищу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Небезпеку електрокорозії характеризують відношенням величини натікаючого змінного струму до одиниці площі поверхні дефекту у захисному покритті підземного трубопроводу. Густина струму (j) зазвичай виражають в A/m^2 і вважається, що тільки за певної критичної густини струму під його впливом прискорюються корозійні процеси на поверхні металу, які призводять до утонення стінки з подальшим утворенням наскрізних корозійних уражень. При постійній густині струму й опорі ґрунту швидкість корозійних процесів на дефектах зі зменшенням їх розміру зростає, оскільки густина струму на меншому дефекті буде більшою.

Значення $30 A/m^2$ вважається таким, що призводить до корозійних руйнувань для будь-якого типу ґрунту [1]. У багатьох країнах прийняті відповідні стандарти, які визначають межу критичної густини струму. Критерієм критичної густини змінного струму на дефектах у захисному покритті трубопроводу у відповідності з роботою [2] був прийнятий показник $20 A/m^2$ як такий, що призводить до істотного прискорення корозії. Нормативними документами України [3] встановлено критичну густину змінного струму $10 A/m^2$.

При малій товщині стінки трубопроводу утворення наскрізного ураження може відбутися в дуже короткий термін. Якщо ж врахувати, що термін експлуатації багатьох трубопроводів складає 30 – 40 років, тобто матеріал труби є досить деградованим, час утворення уражень небезпечної глибини може значно скоротитися за сукупності певних умов. Питання впливу змінного струму на перебіг корозійних процесів із урахуванням компонентного складу ґрунтів вивчено недостатньо.

Метою роботи було дослідження впливу густини струму та хімічного складу ґрунтового електроліту на швидкість утонення стінки трубопроводу.

Постановка задачі досліджень. Основними задачами на даному етапі було лабораторне моделювання процесів корозії під дією змінного струму, встановлення загальних закономірностей електрокорозії матеріалу трубопроводів та ранжування експлуатаційних середовищ за рівнем ризику розвитку електрокорозійної деградації.

Результати досліджень. Визначальною особливістю при вивченні підземної корозії є складність імітації ґрунтового електроліту, а механізм перебігу процесу визначається виключно властивостями приелектродного шару ґрунтового електроліту – аніонним складом, концентрацією і рН. За результатами моніторингу хімічного складу ґрунтових електролітів у 2010 р. визначено найхарактерніший компонентний склад

ґрунтів України [4] та вибрано наступні модельні середовища (табл. 1). Усі середовища поділені на чотири типи: МС1-3 – хлоридні, МС3-6 – хлоридно-сульфатні, МС7-9 – хлоридні підкислені та МС10-12 – хлоридно-сульфатні підкислені середовища. Проведення експерименту в модельних середовищах МС1-6 дає змогу оцінити характер перебігу корозійних процесів в нейтральних розчинах, а в середовищах МС7-12 дозволяє вивчити вплив рН.

Матеріалом досліджень вибрано трубку сталь СТ3 зі стінкою труби $\varnothing 219$ мм, з якої виготовлено зразки розміром $10 \times 50 \times 3$ мм, що попарно занурювали на глибину 20 мм у модельне середовище (табл. 1) та витримували 168 годин. Попередня підготовка зразків полягала у їх механічному очищенні з застосуванням дрібнодисперсного абразиву, знежиренні (використовувався толуол) та зважуванні на демпферних аналітичних вагах з точністю вимірювань 0,00005 г.

Для імітації впливу змінного струму використовувалася установка, створена в ІФНТУНГ (рис. 1). Випробування проводилися за значень густини струму 5, 10, 15 та 20 А/м². Причиною розширення діапазону експериментальних досліджень послужили результати роботи [5], де приріст швидкості корозії при 10 А/м² (нормативне значення) становив 9÷45 % у вказаних середовищах.

Таблиця 1

Склад модельних середовищ для проведення корозійних випробувань

Table 1

Composition of modeling environments for corrosion testing

№ МС	Концентрація, моль/л			
	NaCl	Na ₂ SO ₄	HCl	H ₂ SO ₄
1	0,01	–	–	–
2	0,05	–	–	–
3	0,1	–	–	–
4	0,005	0,005	–	–
5	0,025	0,025	–	–
6	0,05	0,05	–	–
7	0,01	–	0,00001	–
8	0,05	–	0,0001	–
9	0,1	–	0,001	–
10	0,005	0,005	–	0,000005
11	0,025	0,025	–	0,00005
12	0,05	0,05	–	0,0005

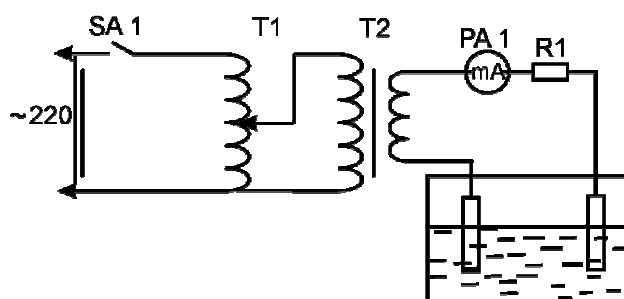


Рисунок 1. Принципова схема установки для визначення швидкості корозії в агресивних середовищах під впливом змінного струму: Т1 – латр LTC-500, Т2 – трансформатор ТМ-56, РА – амперметр, R1 – додатковий опір

Figure 1. Schematic diagram of the setup for determining the rate of corrosion in harsh environments under the influence of an alternating current: T1 – latr LTC-500, T2 – transformer TM-56, PA – ammeter, R1 – additional resistance

Паралельно з корозією під дією змінного струму визначалася швидкість корозії контрольного зразка.

Після закінчення часу експозиції зразки виймали із розчинів, вологою гумкою знімали із їх поверхні продукти корозії, промивали дистильованою водою та ретельно висушували фільтрувальним папером і знову зважували на аналітичних вагах. Кількісним показником швидкості корозійного процесу є гравіметрична оцінка, яка базується на порівнянні результатів зважування зразків до і після експерименту з урахуванням площі зразка, що занурювалася в агресивне середовище, та часу експозиції.

При дослідженні корозійних процесів необхідно враховувати вплив корозійного середовища, з яким безпосередньо контактує трубопровід в умовах експлуатації. Корозія – це поєднання катодного й анодного процесів. В випадку корозійних процесів під впливом змінного струму інтенсивніше проходить анодний процес, лімітуючою стадією якого є розчинення матеріалу труби. На відміну від класичної електрохімічної корозії та корозії під дією постійного струму у нашому випадку маємо цікаву особливість: катодні й анодні процеси чергуються на тій самій ділянці поверхні. Навколишнє середовище, а саме склад ґрунтового електроліту, визначає характер протікання процесів, механізм утворення та склад продуктів корозії, які формують захисні плівки на поверхні металу.

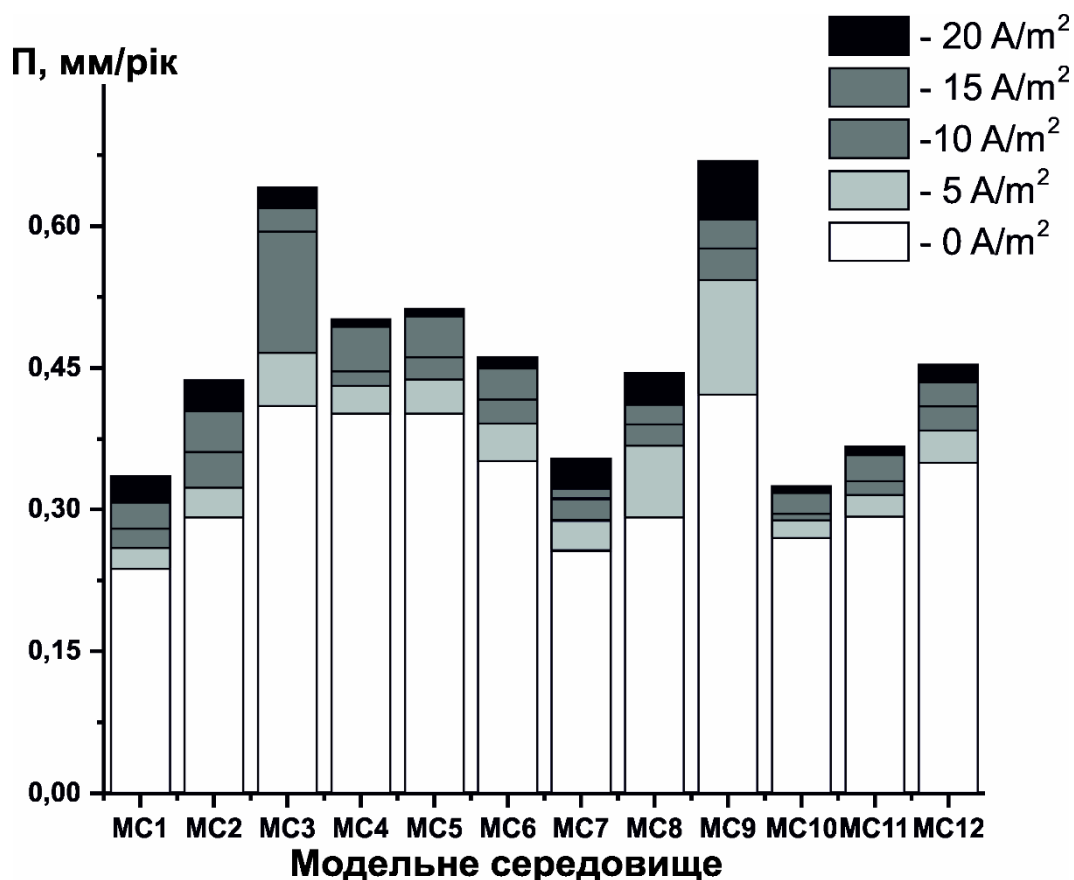
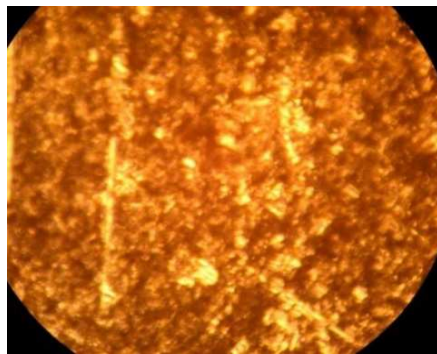


Рисунок 2. Залежність швидкості уточнення стінки трубопроводу у 12 модельних середовищах у діапазоні густини струму 5, 10, 15, 20 А/м²

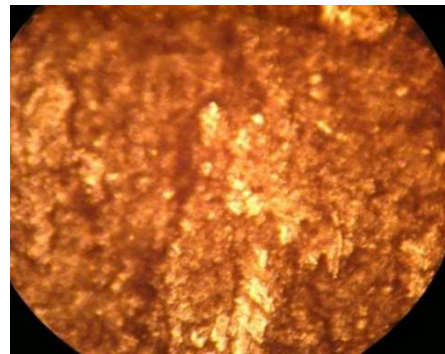
Figure 2. Dependence of thinning of pipe walls in 12 modeling environments in the range of current density 5, 10, 15, 20 A/m²

Вивчення перебігу корозійних процесів у 12 модельних середовищах за діапазону густин струму 5, 10, 15, 20 А/м² за масовою втратою та швидкістю утоненням стінки (рис. 2) дає змогу дослідити взаємодію сталі трубопроводу з навколишнім середовищем (грунтовим електролітом) і встановити ризик розгерметизації при вказаних густинах змінного струму. Швидкість утонення стінки трубопроводу важливо знати для визначення залишкового ресурсу безпечної експлуатації з метою вчасного попередження позаштатних ситуацій та зменшення експлуатаційних ризиків.

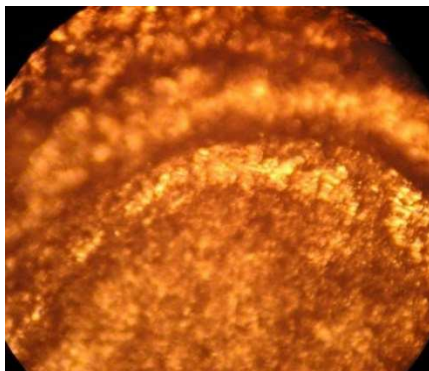
Дослідження протікання корозійних процесів у нейтральних хлоридних модельних середовищах (МС1-3) показали значне збільшення швидкості загальної корозії, а, отже, і швидкості відносного утонення стінки, зі зростанням концентрації хлорид-іонів та величини густини струму. Дещо менше збільшення швидкості корозії спостерігається при різних значеннях густини струму у МС1 та МС2. Різке зростання даних показників спостерігається у МС3 за густини струму 10 А/м², яка за українськими документами є нормативно допустимою. В МС1-3 спостерігається рівномірне корозійне ураження поверхні (рис. 3 а). Такі ураження поверхні характерні також і для зразків без впливу змінного струму (контрольних). Ізоляційне покриття трубопроводу може бути пошкодженим на стадії укладання, а зі збільшенням терміну експлуатації його якість погіршується, що сприяє збільшенню кількості оголених ділянок. За відсутності чи неналежній якості катодного захисту магістральних трубопроводів у хлоридних середовищах вже за густини струму 5 А/м² швидкість утонення стінки згідно рис. 2 може досягати значення 0,23 мм/рік в МС1, 0,32 мм/рік в МС2, у випадку МС3 буде перевищувати 0,47 мм/рік, а приріст за рахунок впливу електрокорозії становитиме 9 %, 10,7% та 13,6% відповідно. Такі значення свідчать про необхідність перегляду рівня допустимої густини струму в українських нормативних документах з протикорозійного захисту.



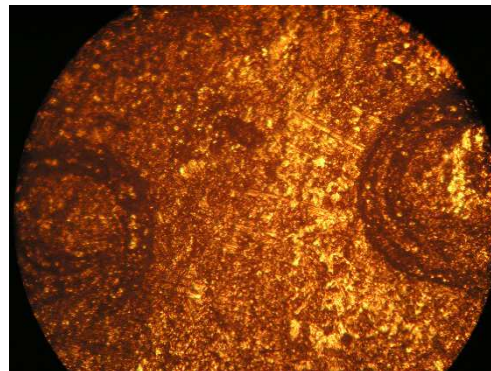
а



б



в



г

Рисунок 3. Характерні корозійні ураження поверхні зразка в різних модельних середовищах: а – хлоридні середовища, б – хлоридно-сульфатні середовища, в – підкислені хлоридні середовища, г – підкислені хлоридно-сульфатні середовища

Figure 3. Typical of corrosive damage of sample surface in different model environments: a – chloride environment, b – chloride-sulfate environment, c – chloride acidified environment, g – acidified chloride sulfate environment

Вивчення швидкості утонення у нейтральних хлоридно-сульфатних середовищах (МС4-6) показало зниження швидкості корозії порівняно з МС1-3, що можна пояснити меншою рухливістю сульфат-іонів, і, відповідно, зниженням провідності. У даних середовищах спостерігається монотонний приріст швидкості корозійних процесів без різких стрибків. Крім того, за високих концентрацій хлоридів і сульфатів швидкість утонення спадає у МС6, що можна пояснити значним накопиченням продуктів корозії на поверхні зразка та сповільненням дифузії кисню до поверхні металу крізь шар утвореної захисної плівки з продуктів корозії. Це зумовлює локалізацію корозійних процесів у місцях тріщин та інших розривів пасивної плівки і призводить до утворення глибоких корозійних уражень (рис. 3 б). Схильність до локалізації уражень простежується і для контрольних зразків, проте їх кількість і глибина є меншою.

Третім етапом досліджень було вивчення впливу рівня рН на електрокорозію у підкислених хлоридних модельних середовищах – МС7-9. Як бачимо з рис. 2, в даних середовищах динаміка зміни швидкості корозії є дещо іншою. В загальному зі збільшенням концентрації електролітів та зростанням величини густини струму спостерігається рівномірний приріст швидкості утонення. Різке збільшення швидкості стінки спостерігається при переході від МС7 до МС8 та МС9. Особливо небезпечною є тенденція до різкого зростання швидкості при малих густинах струму, що відповідають густині струму вдвічі меншій за нормативно допустиму. У випадку середовища МС9 швидкість утонення є найбільшою в порівнянні з іншими середовищами і становить 0,668472 мм/рік (приріст швидкості за рахунок електрокорозії порівняно із МС3 становить 2,2 раза). Дана тенденція є особливо небезпечною для трубопроводів з малою товщиною стінки, а саме для розподільних трубопроводів. Такі дані свідчать про високу небезпеку розгерметизації газопроводів малого та середнього тиску у кислих засолених ґрунтах, які досить часто зустрічаються на Західній Україні. Оскільки товщина стінки таких трубопроводів здебільшого становить 5 мм, то при такому складі ґрунтового електроліту змінний струм може стати причиною утворення наскрізних корозійних уражень через 6-8 років. На відміну від магістральних, розподільчі трубопроводи знаходяться в межах населених пунктів, де виконують функцію забезпечення споживачів та підприємств газом. За умов використання нових побутових приладів, які вимагають заземлення їх, на сучасному етапі часто використовують в якості заземлювачів там самим збільшуючи ризик впливу змінного струму й виникнення наскрізних корозійних уражень. Крім того, в зимовий період для боротьби з обмерзанням доріг використовують сіль, залишки якої, потрапляючи в ґрунт, збільшують провідність середовища.

Характер пошкоджень поверхонь в МС7-9 є різним для контрольних зразків та зразків під дією змінного струму (рис. 3 в), оскільки на поверхні зразків під дією струму у МС7-9 утворюються бульбашки водню, а на контрольних зразках їх утворення є незначним або взагалі не спостерігається. Таке явище, на нашу думку, пояснюється полегшеною адсорбцією утвореного внаслідок корозії водню на пошкодженій поверхні матеріалу трубопроводу особливо у місцях корозійних пошкоджень. Така тенденція сприяє додатковому наводнюванню матеріалу трубопроводу й погіршенню його фізико-механічних характеристик, зокрема

зменшенню пластичності. Внаслідок цього на поверхні утворюються досить великі бульбашки водню й розвиваються корозійні виразки вздовж поверхні поділу фаз, що сприяє інтенсивнішому утворенню локальних корозійних уражень.

Аналіз графічних залежностей для підкислених хлоридно-сульфатних середовищ МС10-12 показує найнижчі показники швидкості утонення стінок та його рівномірне протікання і плавне зростання зі збільшенням густини змінного струму та концентрації електролітів. Таку тенденцію можна пояснити надзвичайно складним механізмом протікання катодних процесів та зменшенням провідності середовища внаслідок наявності сульфат-іонів, які володіють нижчою рухливістю порівняно з хлорид-іонами. Тим не менше аналіз поверхні прокородованого зразка (рис. 3, г) свідчить, що пошкодження характерні для даних середовищ є найбільш небезпечними в корозійному аспекті. Оскільки на поверхні досліджуваного зразка крім пошкоджень характерних для сульфатних середовищ утворюються корозійні виразки внаслідок утворення бульбашок водню. Необхідно зазначити, що на поверхні контрольних зразків як і у випадку підкислених хлоридних середовищ (МС7-9) не спостерігається значного виділення водню. Таким чином в даних середовищах можлива найбільша кількість локальних корозійних уражень.

Висновки. Розроблено установку для моделювання корозії під впливом змінного струму у середовищах, які відповідають основним типам ґрунтових електролітів. Вивчено вплив хімічного складу та рН середовища на швидкість утончення стінки труби при різних рівнях густини струму та встановлено, що зменшення рівня рН істотно прискорює електрокорозійну складову навіть при малих густинах струму. Показано підвищені ризики розгерметизації внаслідок локалізації електрокорозійних процесів у хлоридно-сульфатних середовищах. Експериментально доведено необхідність внесення змін до нормативних документів України в частині зменшення рівня допустимої густини наведеного струму з 10 А/м^2 до 5 А/м^2 . В подальшому необхідно: дослідити вплив часу експозиції та періодичності натікання змінного струму на механізм та швидкість корозійних процесів а також розширити асортимент досліджуваних сталей, що дасть змогу мінімізувати ризики розгерметизації труб та, відповідно, економічні втрати і шкоду довкіллю від витoku транспортованого продукту.

Conclusions. The facility for modeling of corrosion under the influence of alternating current in environments, corresponding to basic types of ground electrolytes, has been developed. The influence of chemical composition and pH on the rate of thinning of the pipe wall at different levels of current density was researched and found that the reduction of pH greatly accelerates electrocorrosion component even at low current density. Increased risks of depressurization as a result of electrocorrosion processes localization in chloride-sulfate environments are shown. Improvements of the regularities in Ukraine standards dealing with the level of induced current allowable density from 10 A/m^2 to 5 A/m^2 was experimentally proved. It is necessary to investigate the influence of an exposure time and the frequency of alternating current incrustations on the mechanism and rate of corrosion processes and expand the assortment of investigated steels in the future which will help to minimize the risks of depressurization of pipes and, consequently, economic losses and environmental damage from leaking transported product.

Список використаної літератури

1. CEOCOR, A.C. Corrosion on cathodically protected pipelines. Guidelines for risk assessment and mitigation measures. Published by APCE Association for the Protection against Electrolytic Corrosion, Italy, 2001.

2. Инструкция по защите от коррозии подземных стальных трубопроводов, расположенных в зоне действия рельсового электротранспорта на переменном токе. Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Панфилова. – М.: Стройиздат, 1972. – 125 с.

3. ДСТУ Б В.2.5-29:2006. Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії.

4. 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.

5. Побережний, Л.Я. Вплив змінного струму на швидкість зовнішньої корозії матеріалу трубопроводу та локалізацію корозійних процесів у хлоридних середовищах [Текст] / Л.Я. Побережний, Г.М. Присліпська // Вісник ТНТУ. – 2013. – № 3.

Отримано 28.09.2015