

**ТЕХНОЛОГІЇ ТА
ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА**

УДК 665.63.048

В. В. РОМАНЧУК, П. І. ТОПІЛЬНИЦЬКИЙ, ЧАН КУОК КХАНЬ**ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИКОРОЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОТЕНЦІЙНИХ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ НАФТОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Визначено захисні властивості потенційних інгібіторів корозії – 1-(2-аміноетил)-2-гептадецил-2-імідазоліну, 1-(2-діетаноламіноетил)-2-(8-гептадецил)-2-імідазоліну, суміші N,N – дізаміщених амідів, естерів та гліцерину, а також амідів поліамінонафтоєвих кислот методом потенціометричних вимірювань. Встановлено зміну корозійного потенціалу, корозійний струм та зміну нахилу прямих Тафеля, як показники антикорозійної дії, яку проявляють досліджувані речовини. Показано, що найкращі захисні властивості має 1-(2-діетаноламіноетил)-2-(8-гептадецил)-2-імідазолін та суміш N,N – дізаміщених амідів, естерів та гліцерину, які можуть використані як інгібітори корозії для захисту обладнання установок первинної переробки нафти.

Ключові слова: корозія нафтопереробного обладнання; інгібітори корозії; антикорозійний захист, корозійний струм, поляризація.

Определены защитные свойства потенциальных ингибиторов коррозии – 1-(2-аминоэтил)-2-гептадецил-2-имидазолина, 1-(2-диэтаноламиноэтил)-2-(8-гептадецил)-2-имидазолина, смеси N,N-дизамещенных амидов, эстеров и глицерина, а так же амидов полиаминнафтоєвих кислот методом потенциометрических измерений. Определены изменение коррозионного потенциала, коррозионный ток и изменение наклона прямых Тафеля, как показатели антикоррозионного действия, которое проявляют исследуемые вещества. Показано, что лучшие защитные свойства имеет 1-(2-диэтаноламиноэтил)-2-(8-гептадецил)-2-имидазолин и смесь N,N-дизамещенных амидов, эфиров и глицерина, которые могут быть использованы как ингибиторы коррозии для защиты оборудования установок первичной переработки нефти.

Ключевые слова: коррозия нефтеперерабатывающего оборудования; ингибиторы коррозии; антикоррозионная защита, коррозионный ток, поляризация.

The experience of corrosion control shows that the use of inhibitors is the most simple and relatively inexpensive method of protecting refinery equipment. The largest part in the world production of corrosion inhibitors are amides (diamides), amines, imidazoline bases and their mixtures, which are the basis of most modern corrosion inhibitors. However, the production of corrosion inhibitors is absent in Ukraine. For research, CARBASOLIN SD-3 1- (2-aminoethyl) -2-heptadecyl-2-imidazoline, carrazoline OT-2 (1- (2-diethanolaminoethyl) -2- (8-heptadecyl) -2-imidazoline, cationic The fat P-1, which is a mixture of N, N-disubstituted amides, fatty acid esters and glycerol, is selected for comparison with the Clariant Dodigen corrosion inhibitor used in the petrochemical industry containing amides of polyaminophenic acids. All tests with inhibitors were made in solutions, which consisted of 0.1 M HCl and a solution of an inhibitor in iso-butanol. Polarization measurements were made using the Solatron 1286, the Solatron SI 1255 analyzer controlled by the CorrWare 2 and ZPlot 2 computer software. The values of the electrochemical potential obtained from the measurements for 60 seconds showed that the inhibitors preferentially obstructed the oxidation of iron, which is inherent in inhibitors of the anode type. Potentials taken at 30 seconds galvanostatic cathode polarization current density of -1 mA / cm² showed that they impede the release of hydrogen - the weakest carbazolin SD 3, the most effective fat kationoaktivnyy P-1. Potentials taken at 30 seconds of galvanostatic anode polarization with a current density of 1 mA / cm² were displaced towards less negative values, indicating that the inhibitors also hampered the anode reaction - the weakest of Dodigen and CD-3, the strongest of the carboxylin OT-2 and the fat is cationic P-1. Obtained from the polarization curves of the density of corrosion current i_{kor} at corrosion potential showed that the presence of inhibitors of carbazolin OT-2 and cationic fat P-1 in the amount of 50 ppm in 4-5 times reduces the corrosion current, which is a measure of the rate of corrosion of the metal.

Keywords: corrosion of oil refining equipment; corrosion inhibitors; anti-corrosion protection, corrosion current, polarization.

Вступ. Процес первинної переробки нафти є одним з найбільш металоємних на кожному нафтопереробному заводі. Річні втрати від корозії в нафтогазовій промисловості лише в Сполучених Штатах оцінюються в 27 мільярдів доларів США (за даними NACE International). Це дозволило оцінити, що глобальні річні збитки нафтогазової галузі перевищують 60 мільярдів доларів [1, 2]. Значні втрати від корозії при переробці нафти обумовлені не тільки великими об'ємами виробництва, але й високою агресивністю технологічних середовищ при різних видах корозійного руйнування [3, 4].

Сира нафта, яка надходить на нафтопереробний завод, зазвичай містить від 0,2 до 1 % води [5, 6]. Хлориди, хлороводень, які присутні у водній фазі, спричиняють рівномірну та виразкову корозію вуглецевих та хромистих сталей. Найбільш небезпечні хлориди для аустенітних сталей: вони спричиняють пitting, корозійне розтріскування [7]. Сірковмісні сполуки нафти також є причиною корозійного руйнування обладнання. На установках стабілізації та первин

ної переробки нафти, а також вторинної переробки нафтопродуктів проходить низькотемпературна корозія під дією соляної кислоти, сірководню, CO₂ та органічних кислот. Дана корозія підлягає законам електрохімічної кінетики [2, 8].

Для збільшення терміну служби і захисту від корозії устаткування установок типу АВТ (АТ) широко використовують хіміко-технологічні методи: знесолення і зневоднювання нафти, введення лужних реагентів у сировину (залуговування сировини), нейтралізацію верхніх погонів атмосферних колон, інгібування [5, 6]. Використання інгібіторів – один з найбільш важливих та широко розповсюджених методів боротьби з корозією [9].

На даний час відомо велика кількість інгібіторів корозії для захисту металів у вуглеводневих середовищах. Проте вимоги нафтових компаній полягають в наступному: інгібітор повинен забезпечувати максимум захисної дії при досить малій концентрації; бути технологічними (не порушувати нормальний технологічний режим роботи установки, не погіршувати

якість продуктів і роботу каталізаторів вторинних процесів). Інгібітори повинні бути економічними; стійкими до окиснення і відновлення; не робити токсичного впливу на обслуговуючий персонал і не створювати загрози забруднення навколишнього середовища. Але більшість інгібіторів, які розробляють та досліджують в країнах СНД, це інгібітори вибіркового достатньо вузького спектра дії, вони представлені лабораторними зразками, не мають виробничих потужностей та залежать від імпортової сировини. Враховуючи ці проблеми, доцільна розробка універсальних інгібіторів, які б скоротили існуючий дефіцит захисних матеріалів, розширили їх вітчизняну сировинну базу, вирішували питання імпортозаміщення та вироблялись на одному з українських заводів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Номенклатура існуючих інгібіторів достатньо широка. На даний час відомо велика кількість інгібіторів корозії для захисту металів у вуглеводневих середовищах. В більшості вони є органічними сполуками різних класів, які містять гетероатом: нітроген, сульфур, кисень, фосфор, кремній [10–13]. Перспективним напрямком в цій галузі є використання рослинної сировини для створення інгібіторів корозії. Так, одним з методів пропонується застосування ізопропанольного шроту ріпаку, утвореного при його холодному віджимі [14]. Іншим автором пропонується застосування алкалоїдної екстрактної частини рослини *Trichodesma indicum* (Linn) [15]. Інші науковці пропонують використовувати продукти вугільно-дернової перегонки [16].

В багатьох роботах досліджено особливості захисних властивостей легких інгібіторів сірководневої та вуглекислотної корозії. Автором роботи [17] розроблено новий інгібітор на основі оксидетильованих алкіл-(або алкілфенол)метил або етилфосфітів N-метил або етилалкіламонія. Для захисту конденсаторно-холодильного обладнання установок стабілізації нафти з боку широкої фракції легких вуглеводнів запропоновано комбінований інгібітор корозії, який є композицією моноетаноламіну (МЕА) та інгібіторів корозії ТАЛ–М, які вироблені на основі жирних кислот талової олії, поліетиленполіамінів, n-алкілфенолів та ін. [18]. Як інгібітори корозії комплексної дії досліджено сполуки тіазолу. Комплексом методів встановлено, що значне зростання протикорозійної активності спостерігається в 4-арилзаміщених тіазолах із сильними електронодонорними та електроакцепторними замісниками [19].

Автори [20] всебічно досліджують, бензол сульфокислоту ($C_6H_6SO_3$), p-толуолсульфокислоту ($C_7H_8SO_3$), катіонні поліелектролітні комплекси на основі четвертинної амонієвої солі морфоліну (ЧАСМ), диметилдіаліламонійхлориду (ПДП) та інші продукти та пропонують їх як інгібітори корозії для первинної переробки нафти.

Синтезовано та досліджено основи Манніха, як інгібітори корозії, вивчено гальмування ними корозії легкої сталі в 1,0 М H_2SO_4 [21].

В одному з випробувань цього напрямку було протестовано швейцарський товарний інгібітор корозії *dodigen 481*, основу якого складають аміни поліа-

міннафенових кислот. Його ефективність оцінено на 90–98 % [22].

Не зважаючи на великий обсяг досліджень в даній області немає однієї загальноприйнятої теорії, яка правильно пояснювала б механізм дії органічних інгібіторів з довгими вуглеводневими ланцюгами. Згідно даних літератури, адсорбція органічних речовин відбувається на частково заповнену d-орбіталь феруму реакційними центрами молекул. При подібному механізмі адсорбції електронна взаємодія має донорно-акцепторний характер [14, 23].

З точки зору електрохімії, введення інгібітора спричиняє зміну корозійного потенціалу системи, значною мірою впливає на зменшення густини корозійного струму, що є мірою швидкості корозії металів. Більшість інгібіторів впливає на перебіг як катодних, так і анодних реакцій: змішану інгібуючу дію виявляє зокрема велика кількість органічних інгібіторів. Дію інгібіторів корозії вивчають за допомогою гравіметричних досліджень, потенціодинамічної поляризації, електрохімічної імпедансної спектроскопії. Саме поєднання цих методів дає повну картину ефективності та принципу дії інгібіторів корозії [8].

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є пошук нових ефективних інгібіторів корозії для захисту нафтозаводського обладнання, які би вироблялись з недорогої, доступної, відтворюваної сировини.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Вибрати хімічні речовини, які виробляються на українських хімічних заводах і могли би бути потенційними інгібіторами корозії.

2. Встановити їх ефективність та механізм захисту методом поляризаційних досліджень.

3. Запропонувати інгібітори для промислових випробувань на нафтопереробних підприємствах.

Методика випробувань потенційних інгібіторів корозії. Для досліджень взято речовини, які на основі теоретичних передумов (наявність O та N в складі високомолекулярних вуглеводневих радикалів), можуть проявляти антикорозійні властивості. Були досліджені імідазоліни на основі стеаринової кислоти, олеїнової кислоти, фракції ріпакової олії, жири катіоноактивні, які є сумішами амідів та естерів кислот ріпакової олії:

Карбазолін СД–3: 1–(2-аміноетил)–2–гептадецил–2-імідазолін

Карбазолін ОТ–2: 1–(2-діетаноламіноетил)–2–(8-гептадециніл)–2-імідазолін

Катіонний жир Р–1: суміш N,N-дізаміщених амідів, ефірів жирних кислот та гліцерину.

Ці речовини були відібрані на основі попередніх досліджень, описаних в роботі [4, 24]. Для порівняння вибрано товарний інгібітор корозії *Dodigen 481* фірми Clariant, що використовувався в нафтохімічній промисловості, який містить аміді поліамінафенових кислот.

Зважаючи на слабку розчинність досліджуваних інгібіторів корозії у воді [4], приготовано їх розчини в ізобутанолі концентрацією 2 г/дм³. Всі випробування з інгібіторами проводились в розчинах, які складались з 150 см³ 0,1 М HCl та 3,75 см³ розчину інгібітору в ізобутанолі. Таким чином, отримано наступний розчин: 0,098 М HCl, 0,266 М ізобутанолу і 50 мг/дм³ (бі-

ля 50 ppm) даного інгібітору. Для порівняння проведено також дослідження в розчині 0,098 М НСl, 0,266 М ізо-бутанолу без інгібітору, а також в розчині 0,1 М НСl. Виміри проводилися за температури $28,8 \pm 0,4$ °С.

При випробуваннях використовувалося товарне залізо атмсо наступного складу: С 0,031, Мп 0,12, Si 0,01, Р 0,008, S 0,015, Cr 0,01, Ni 0,01, Cu 0,02, Al 0,03 ваг.%, решта – Fe, у виді прокатонової товстолистової сталі (товщина 1 мм). Геометрична площа поверхні зразка становила $0,2715 \pm 0,0037$ см². Для точності вимірів використовували 5 пластинок для кожного інгібітору. Незахищену поверхню шліфували, полірували і знежирювали ацетоном.

Випробування проводили у циліндричній посудині, що звужується донизу, на дні якої знаходилась досліджувана проба. Посудина була обладнана допоміжним електродом з платинової сітки, а також капіляром Лугіна, який наповнено розчином 0,1 М НСl і поміщеним в нього електродом порівняння Hg|Hg₂Cl₂|0,1 М НСl, який знаходиться в рівновазі з тим розчином. Вихід капіляру Лугіна був закритий нещільним корком з вати, що допускало електричний контакт і водночас обмежувало проникнення інгібіторів та ізо-бутанолу в середину капіляру. Щоразу перед вимірюваннями потенціал електроду порівняння контролювався відносно насиченого каломельового електроду. Всі потенціали вимірювались відносно до потенціалу насиченого каломельового електроду.

Поляризаційні виміри проводились з використанням приладу Solatron 1286, аналізатору Solatron SI 1255 керованого комп'ютерною програмою CorWare 2 і ZPlot 2.

Програма проведення потенціометричних досліджень інгібіторів корозії:

1. Після заповнення посудини корозійним середовищем (з інгібітором і без) через 1–2 хв. реєстрували потенціал корозії.

2. Проводили катодну та анодну поляризації струмом -1 мА/см² та 1 мА/см² відповідно.

3. За даними досліджень будували поляризаційні криві катодної та анодної поляризації. Розраховували константи Тафеля [8], в рівнянні:

$$\eta = a + b \lg i, \quad (1)$$

де η – поляризація поверхні, а і b – коефіцієнти рівняння Тафеля.

Коефіцієнт a залежить від температури, природи металу та дорівнює перенапрузі за густини струму 1 А/см² ($\lg i = 0$), коефіцієнт b пов'язаний з механізмом виникнення поляризації та відповідає тангенсу кута нахилу прямолинійної ділянки поляризаційної кривої.

Ефективність інгібування розраховували з рівняння:

$$Z = \left[1 - \frac{i_{\text{инг}}}{i_{\text{б/инг}}} \right] \times 100 \%, \quad (2)$$

де $i_{\text{инг}}$ та $i_{\text{б/инг}}$ – густини струму корозії відповідно у присутності та відсутності інгібітору.

Результати випробувань захисного ефекту та механізму дії інгібіторів корозії. Ефективність інгібіторів та механізм їх дії визначали на основі зміни значень потенціалів катодної та анодної поляризації, нахилу тафелевських прямих в анодній та катодній областях, зменшенні корозійного струму.

На рис. 1 показаний вплив інгібіторів на потенціал корозії E_{corr} , виміряний через 2 хв після занурення зразка в розчин, та потенціал корозії, отриманий пізніше з кривих поляризації. Можна відзначити, що всі перевірені інгібітори зміщували E_{corr} в анодний бік. Тобто можна віднести дані інгібітори до інгібіторів анодного типу. Присутність 1-бутанол без інгібіторів не викликало таких значних змін корозійного потенціалу. Цікаво, що E_{corr} після 2 хв занурення пластин (сині точки) схожий на Esoct, отриманий пізніше з кривої поляризації (червоні точки) для всіх випадків. Це означає, що динамічна рівновага на поверхні зразка в кислотних розчинах інгібіторів була досягнута відносно швидко (<2 хв) і що ця рівновага була настільки стабільною, що період вимірювання катодної поляризації не вплинув на це.

На рис. 2, 3 наведені потенціали катодної (-1 мА/см²) та анодної (1 мА/см²) поляризації відповідно, отриманих з кривих поляризації. У випадку катодної поляризації інгібітори перемістили потенціал до більш негативних значень. Це означає, що вони гальмують катодну реакцію. Навпаки, у випадку анодної поляризації інгібітори перемістили потенціал до менш негативних значень. Це означає, що вони також гальмують і анодну реакцію.

Одержані з поляризаційних кривих величини густини корозійного струму i_{corr} при корозійному потенціалі показані на рис. 4. Бачимо, що наявність інгібіторів в кількості 50 ppm в кілька разів понижують корозійний струм, який є мірою швидкості корозії металу.

Найбільше пониження спричиняв катіонний жир Р-1, слабше – карбазолін ОТ-2, а найслабше карбазолін СД-3. У випадку Dodigen розкидання отриманих результатів був стосовно великий і величина i_{corr} розтягуються як від низьких значень, як для жиру катіоноактивного Р-1, так до вищих як в карбазоліна СД-3.

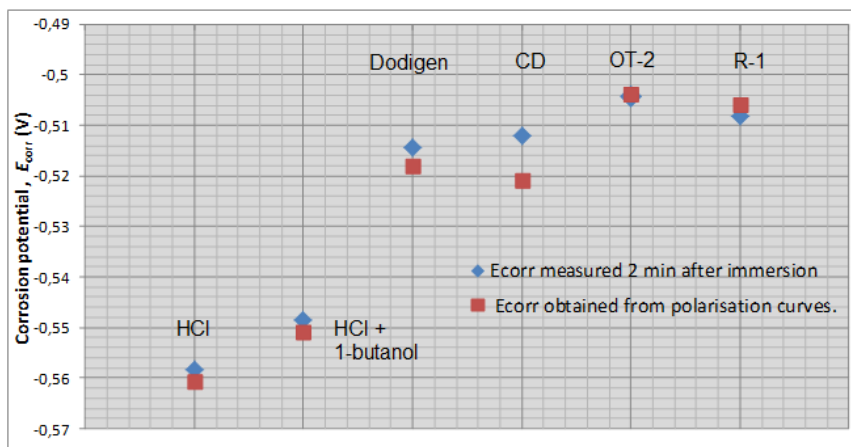


Рис. 1 – Потенціал корозії, виміряний через 2 хв після занурення, та потенціал корозії, отриманий з кривих поляризації.

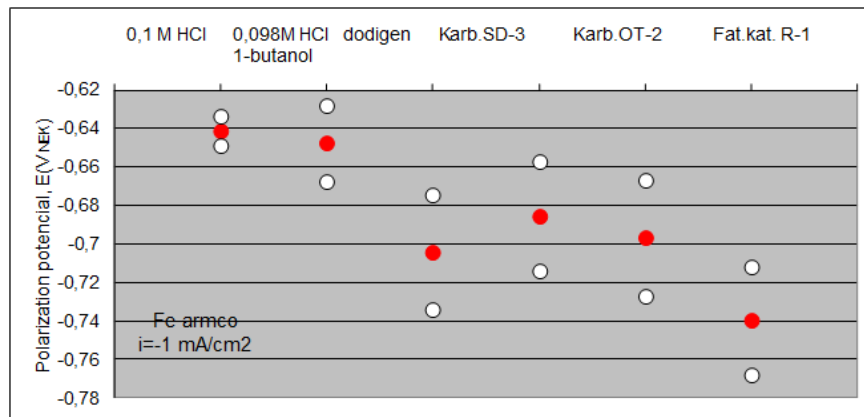


Рис. 2 – Катодний поляризаційний потенціал при -1 mA/cm^2 (● – середні значення, ○ – мінімальне та максимальне значення)

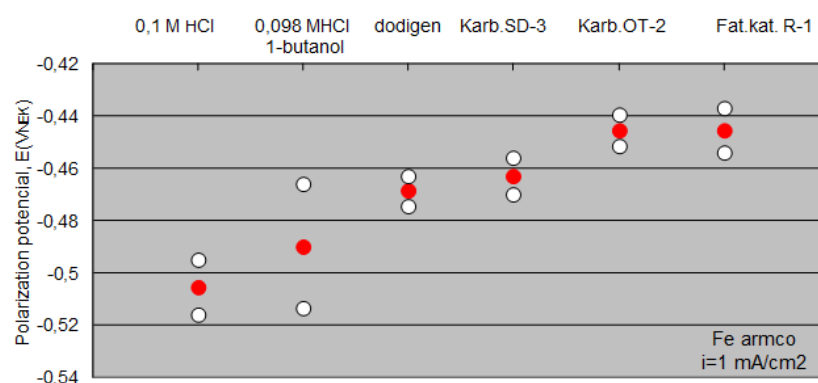


Рис. 3 – Анодний поляризаційний потенціал при 1 mA/cm^2 (● – середні значення, ○ – мінімальне та максимальне значення)

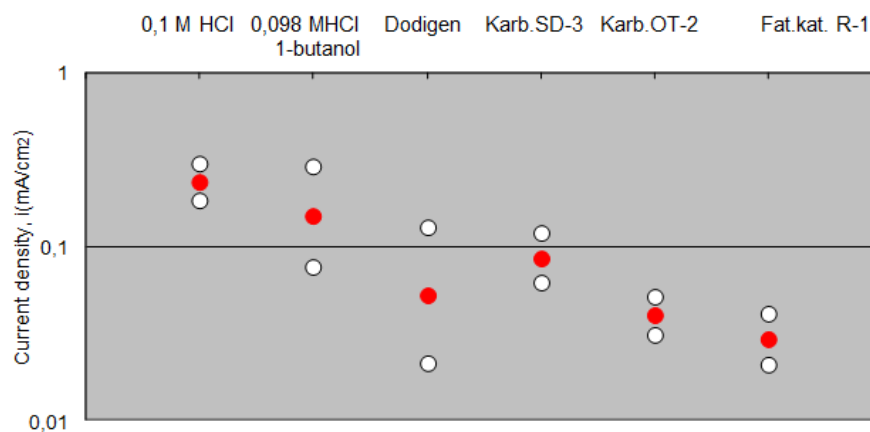


Рис. 4 – Величина корозійного струму при потенціалі корозії (● – середні значення, ○ – мінімальне та максимальне значення)

Обговорення результатів дослідження захисного ефекту та механізму дії інгібіторів корозії. В момент вливання розчину інгібітора в посудину розчин починає взаємодіяти з пластинкою. При цьому на анодних ділянках відбувались наступні реакції:

– розчинення окисненого заліза, яке утворилось раніше при перебуванні пластинки на повітрі $\text{FeO} (\text{Fe}_3\text{O}_4, \text{Fe}_2\text{O}_3) + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$

– розчинення заліза $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

Відповідно на катодній ділянці проходили реакції:

– виділення водню, адсорбція атомарного водню на залізі $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{e}^- + \text{Fe} \rightarrow \text{Fe-H}_{\text{ads}} + \text{H}_2\text{O}$

хімічна десорбція водню $2\text{Fe-H}_{\text{ads}} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{H}_2 \uparrow$ електрохімічна десорбція водню

$\text{Fe-H}_{\text{ads}} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2 \uparrow$

Ці реакції можуть проходити одночасно, але при переважанні останньої відбувається сильна катодна поляризація.

– абсорбція водню з поверхні в середину металу $\text{Fe-H}_{\text{ads}} \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_{\text{abs}}$

– абсорбція н-бутанолу та інгібітору на поверхні металу.

Ці процеси впливали на величину електрохіміч-

ного потенціалу пластинки в розчині, а оскільки швидкості цих процесів змінювались в часі, то й потенціал електроду з часом змінювався.

Вирахувані електрокінетичні параметри корозії для інгібіторів, які досліджуються: потенціал корозії $E_{кор}$ (мВ), густина струму корозії $I_{кор}$ (мА/см²) та ефективність інгібування Z (%), розрахованою за формулою (1), наведені в табл. 1.

Про антикорозійний захист свідчить зменшення

корозійного струму та потенціалу корозії. В результаті найбільший захисний ефект проявив жир катіонний Р-1 (87,3 %), дещо в меншій мірі захищав металічну поверхню карбозолін ОТ-2 (82,7 %), Dodigen та карбозолін СД-3 – 67,5 та 65,4 % відповідно.

Рівняння, які описують електрохімічну кінетику дії інгібіторів на анодних ділянках розчинення заліза та катодних ділянках відновлення гідрогену наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Результати досліджень захисного ефекту та механізму дії інгібіторів корозії

Показник	Середовище					
	НСІ	НСІ+бутанол	Dodigen	СД-3	ОТ-2	Р-1
$E_{кор}$, мВ	-561	-551	-519	-521	-503	-505
$I_{кор}$, мА/см ²	0,237	0,160	0,077	0,082	0,041	0,030
Z , %	–	–	67,5	65,4	82,7	87,34

Таблиця 2 – Кінетичні рівняння Тафеля $\eta = a + b \lg |i|$

Середовище	Анодна ділянка	Катодна ділянка
НСІ	$\eta = -0,506 + 0,083 \lg i $	$\eta = -0,641 - 0,130 \lg i $
НСІ+бутанол	$\eta = -0,490 + 0,074 \lg i $	$\eta = -0,650 - 0,118 \lg i $
АПАНК	$\eta = -0,467 + 0,039 \lg i $	$\eta = -0,703 - 0,080 \lg i $
СД-3	$\eta = -0,555 + 0,058 \lg i $	$\eta = -0,686 - 0,130 \lg i $
ОТ-2	$\eta = -0,445 + 0,042 \lg i $	$\eta = -0,696 - 0,089 \lg i $
Р-1	$\eta = -0,448 + 0,040 \lg i $	$\eta = -0,740 - 0,092 \lg i $

На основі електрохімічних кінетичних залежностей ($\Delta E = f(\Delta I)$), значень потенціалів катодної та анодної поляризації, нахилу прямих Тафеля в анодній та катодній областях встановлено, що за механізмом захисної дії досліджувані інгібітори відносяться до інгібіторів змішаного типу (в більшій степені до анодних).

Дані потенціометричних досліджень підтвердили результати гравіметричних досліджень, проведених раніше [24]. Так, карбозолін СД, який показав найгірший захисний ефект при гравіметричних дослідженнях, виявив погану захисну дію в потенціометричних дослідженнях. Катіонний жир Р-1 та карбозолін ОТ-2 підтвердили кращі захисні властивості, які перевищили імпортований інгібітор на основі амідів поліамінафтеноних кислот.

Висновки

1. Досліджено захисний ефект та механізм дії хімічних речовин, як інгібіторів корозії, а саме: 1–(2–аміноетил)–2–гептадецил–2–імідазоліну, 1–(2–діетаноламіноетил)–2–(8–гептадециніл)–2–

імідазоліну, суміші N,N–дізаміщених амідів, естерів та гліцерину, які виробляються на українських хімічних заводах та можуть бути потенційними інгібіторами корозії.

2. Потенціометричними дослідженнями вивчено механізм інгібіторного захисту та на основі значень потенціалів катодної та анодної поляризації, нахилу прямих Тафеля в анодній та катодній областях встановлено, що за механізмом захисної дії досліджувані інгібітори відносяться до інгібіторів змішаного типу (в більшій степені до анодних), гальмуючи при цьому реакцію розчинення заліза. Встановлено, що 1–(2–діетаноламіноетил)–2–(8–гептадециніл)–2–амідазоліну та суміш N,N–дізаміщених амідів, естерів та гліцерину проявляють захисний ефект на рівні 87 та 82 % відповідно.

3. Порівнюючи захисний ефект досліджуваних інгібіторів корозії з імпортованим інгібітором Dodigen на основі амідів поліамінафтеноних кислот, дані речовини можна рекомендувати для подальших промислових випробувань на нафтопереробних підприємствах.

Список літератури:

1. Papavinasam, S. Corrosion Control in the Oil and Gas Industry [Text] / S. Papavinasam. – 1-st ed. – Gulf Professional Publishing, 2013. – 1020 p.
2. Brzeszcz, J. Corrosion inhibitors – application in oil industry [Text] / Brzeszcz, A. Turkiewicz // NAFTA-GAZ. – 2015. – Issue 2. – P. 67–75.
3. Dawson, J. L. Management of Corrosion in the Oil and Gas Industry [Text] / J. L. Dawson, G. John, K. Oliver // Shreir's Corrosion. – 2010. – P. 3230–3269. doi: [10.1016/b978-044452787-5.00168-2](https://doi.org/10.1016/b978-044452787-5.00168-2).
4. Romanchuk, V. Investigation of reagents with different chemical compositions for protection of oil primary refining equipment [Text] / V. Romanchuk, P. Topilnytsky // Chemistry & Chemical Technology. – 2010. – Vol. 4, Issue 3. – P. 231–236.
5. Topilnytsky, P. Corrosion protection of oil production and refinery equipment [Text] / P. Topilnytsky // Chemistry and chemical technology. – 2007. – Vol. 1, Issue 1. – P. 45–54.
6. Топільницький, П. Технологія первинної переробки нафти і газу [Текст]: підручник / П. Топільницький, О. Гринишин, О. Мачинський. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 468 с.
7. Shalaby, H. M. Failure of 321 stainless steel heater tube in heavy crude oil [Text] / H. M. Shalaby, K. Ravindranath, N. Tanoli, B. Al-Wakaa // Case Studies in Engineering Failure Analysis. – 2017. – Vol. 9. – P. 1–8. doi: [10.1016/j.csefa.2017.04.004](https://doi.org/10.1016/j.csefa.2017.04.004).
8. Улиг, Г. Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику [Текст] / Г. Г. Улиг, П. У. Реву; под ред. А. М. Сухотина. – Л.: Химия, 1989. – 456 с.
9. Finšgar, M. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review [Text] / M. Finšgar, J. Jackson // Corrosion Science. – 2014. – Vol. 86. – P. 17–41. doi: [10.1016/j.corsci.2014.04.044](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.044).
10. Rafiqee, M. Z. A. Influence of surfactants on the corrosion inhibition behaviour of 2-aminophenyl-5-mercapto-1-oxa-3,4-diazole (AMOD) on

- mild steel [Text] / M. Z. A. Rafiquee, N. Saxena, S. Khan, M. A. Quraishi // Materials Chemistry and Physics. – 2008. – Vol. 107, Issue 2-3. – P. 528–533. doi: [10.1016/j.matchemphys.2007.08.022](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.08.022).
11. Alsabagh, A. M. Reactivity of polyester aliphatic amine surfactants as corrosion inhibitors for carbon steel in formation water (deep well water) [Text] / A. M. Alsabagh, M. A. Migahed, Hayam S. Awad // Corrosion Science. – 2006. – Vol. 48, Issue 4. – P. 813–828. doi: [10.1016/j.corsci.2005.04.009](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.04.009).
 12. Prabhu, R. A. Influence of tramadol [2-[(dimethylamino)methyl]-1-(3-methoxyphenyl) cyclohexanol hydrate] on corrosion inhibition of mild steel in acidic media [Text] / R. A. Prabhu, A. V. Shanbhag, T. V. Venkatesha // Journal of Applied Electrochemistry. – 2007. – Vol. 37, Issue 4. – P. 491–497. doi: [10.1007/s10800-006-9280-2](https://doi.org/10.1007/s10800-006-9280-2).
 13. Shanbhag, A. V. Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium using hydrazide derivatives [Text] / A. V. Shanbhag, T. V. Venkatesha, R. A. Prabhu, R. G. Kalkhambkar, G. M. Kulkarni // Journal of Applied Electrochemistry. – 2007. – Vol. 38, Issue 3. – P. 279–287. doi: [10.1007/s10800-007-9436-8](https://doi.org/10.1007/s10800-007-9436-8).
 14. Chygyrynets', E. A Study of Rape-Cake Extract as Eco-Friendly Vapor Phase Corrosion Inhibitor [Text] / E. Chygyrynets', V. Vorobyova // Chemistry and chemical technology. – 2014. – Vol. 8, Issue 2. – P. 235–239.
 15. Mangai, S. A. Comparative Corrosion Inhibition Effect of Imidazole Compounds and of Trichodesma indicum (Linn) R. Br. on C38 Steel in 1 M HCl Medium [Text] / S. A. Mangai, S. Ravi // Journal of Chemistry. – 2013. – Vol. 2013. – P. 1–4. doi: [10.1155/2013/527286](https://doi.org/10.1155/2013/527286).
 16. Abdel Ghany, N. A. Novel corrosion inhibitors for acidizing oil wells [Text] / N. A. Abdel Ghany, M. F. Shehata, R. M. Saleh, A. A. El Hosary // Materials and Corrosion. – 2016. – Vol. 68, Issue 3. – P. 355–360. doi: [10.1002/maco.201609146](https://doi.org/10.1002/maco.201609146).
 17. Айманов, Р. Д. Разработка и защитные свойства ингибиторов сероводородной и углекислотной коррозии стали на основе азот-, фосфорсодержащих соединений [Текст]: автореф. дис. ... канд. хим. наук / Р. Д. Айманов. – Казань, 2009. – 20 с.
 18. Арсланов, А. К. Исследование защитных свойств ингибитора коррозии ТАЛ-2513-Р в некоторых коррозионных средах гравиметрическим методом [Текст]: междунар. науч.-практ. конф. / А. К. Арсланов, А. С. Алябьев, И. Ф. Садретдинов, Р. М. Рафикова // Нефтегазопереработка-2011. – Уфа, 2011. – С. 153.
 19. Дорошенко, Т. Протикорозійні властивості 4-заміщених 2-амінотіазолів та їх похідних [Текст] / Т. Дорошенко, С. Ляцук, В. Сня, Ф. Болдирева // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – 2012. – Т. 1. – С. 252–256.
 20. Образцов, В. Інгибувач та деемульгуюча дія поліелектролітів при первинній переробці нафти [Текст] / В. Образцов, Р. Старов, Н. Амруллоєва, С. Атанов // Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. – 2012. – Т. 1. – С. 232–237.
 21. Jamal Abdul Nasser, A. Comparative study of N -(4-methoxyphenyl) (morpholin-4-yl)methyl)acetamide (MMPA) and N -(morpholin-4-yl(phenyl)methyl)acetamide (MPA) as corrosion inhibitors for mild steel in sulfuric acid solution [Text] / A. Jamal Abdul Nasser, M. Anwar Sathiq // Arabian Journal of Chemistry. – 2017. – Vol. 10. – P. S261–273. doi: [10.1016/j.arabjc.2012.07.032](https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.07.032).
 22. Granero, M. F. L. Dodigen 213-N as corrosion inhibitor for ASTM 1010 mild steel in 10 % HCL [Text] / M. F. L. Granero, P. H. L. S. Matai, I. V. Aoki, I. C. Guedes // Journal of Applied Electrochemistry. – 2009. – Vol. 39, Issue 8. – P. 1199–1205. doi: [10.1007/s10800-009-9785-6](https://doi.org/10.1007/s10800-009-9785-6).
 23. Xia, S. Molecular dynamics and density functional theory study on relationship between structure of imidazoline derivatives and inhibition performance [Text] / S. Xia, M. Qiu, L. Yu, F. Liu, H. Zhao // Corrosion Science. – 2008. – Vol. 50, Issue 7. – P. 2021–2029. doi: [10.1016/j.corsci.2008.04.021](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.04.021).
 24. Gajek, A. Protective properties and spectral analysis of nitrogen- and oxygen-containing corrosion inhibitors for oil equipment [Text] / A. Gajek, T. Zakroczyński, P. Topilnytsky, V. Romanchuk // Chemistry & Chemical Technology. – 2012. – Vol. 6, Issue 2. – P. 209–219.
 25. Медведева, М. Л. Коррозия и защита оборудования при переработке нефти и газа [Текст]: уч. пос. / М. Л. Медведева. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ», 2005. – 312 с.

Bibliography (transliterated):

1. Papavinasam, S. (2013). Corrosion Control in the Oil and Gas Industry. Gulf Professional Publishing, 1020.
2. Brzeszcz, J., Turkiewicz, A. (2015). Corrosion inhibitors – application in oil industry. NAFTA-GAZ, 2, 67–75.
3. Dawson, J. L., John, G., Oliver, K. (2010). Management of Corrosion in the Oil and Gas Industry. Shreir's Corrosion, 3230–3269. doi: [10.1016/b978-044452787-5.00168-2](https://doi.org/10.1016/b978-044452787-5.00168-2).
4. Romanchuk, V., Topilnytsky, P. (2010). Investigation of reagents with different chemical compositions for protection of oil primary refining equipment. Chemistry & Chemical Technology, 4 (3), 231–236.
5. Topilnytsky, P. (2007). Corrosion protection of oil production and refinery equipment. Chemistry and chemical technology, 1 (1), 45–54.
6. Topilnytskyi, P., Hrynshyn, O., Machynskyi, O. (2014). Tekhnolohiya pervynnoi pererobky nafty i hazu. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 468.
7. Shalaby, H. M., Ravindranath, K., Tanoli, N., Al-Wakaa, B. (2017). Failure of 321 stainless steel heater tube in heavy crude oil. Case Studies in Engineering Failure Analysis, 9, 1–8. doi: [10.1016/j.csefa.2017.04.004](https://doi.org/10.1016/j.csefa.2017.04.004).
8. Ulig, G. G., Revi, R. U.; Suhotin, A. M. (Ed.) (1989). Korroziya i bor'ba s ney. Vvedenie v korroziionnyu nauku i tekhniku. Leningrad: Himiya, 456.
9. Finšgar, M., Jackson, J. (2014). Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review. Corrosion Science, 86, 17–41. doi: [10.1016/j.corsci.2014.04.044](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.044).
10. Rafiquee, M. Z. A., Saxena, N., Khan, S., Quraishi, M. A. (2008). Influence of surfactants on the corrosion inhibition behaviour of 2-aminophenyl-5-mercapto-1-oxa-3,4-diazole (AMOD) on mild steel. Materials Chemistry and Physics, 107 (2-3), 528–533. doi: [10.1016/j.matchemphys.2007.08.022](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.08.022).
11. Alsabagh, A. M., Migahed, M. A., Awad, H. S. (2006). Reactivity of polyester aliphatic amine surfactants as corrosion inhibitors for carbon steel in formation water (deep well water). Corrosion Science, 48 (4), 813–828. doi: [10.1016/j.corsci.2005.04.009](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.04.009).
12. Prabhu, R. A., Shanbhag, A. V., Venkatesha, T. V. (2007). Influence of tramadol [2-[(dimethylamino)methyl]-1-(3-methoxyphenyl) cyclohexanol hydrate] on corrosion inhibition of mild steel in acidic media. Journal of Applied Electrochemistry, 37 (4), 491–497. doi: [10.1007/s10800-006-9280-2](https://doi.org/10.1007/s10800-006-9280-2).
13. Shanbhag, A. V., Venkatesha, T. V., Prabhu, R. A., Kalkhambkar, R. G., Kulkarni, G. M. (2007). Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium using hydrazide derivatives. Journal of Applied Electrochemistry, 38 (3), 279–287. doi: [10.1007/s10800-007-9436-8](https://doi.org/10.1007/s10800-007-9436-8).
14. Chygyrynets', E., Vorobyova, V. (2014). A Study of Rape-Cake Extract as Eco-Friendly Vapor Phase Corrosion Inhibitor. Chemistry and chemical technology, 8 (2), 235–239.
15. Mangai, S. A., Ravi, S. (2013). Comparative Corrosion Inhibition Effect of Imidazole Compounds and of Trichodesma indicum (Linn) R. Br. on C38 Steel in 1 M HCl Medium. Journal of Chemistry, 2013, 1–4. doi: [10.1155/2013/527286](https://doi.org/10.1155/2013/527286).
16. Abdel Ghany, N. A., Shehata, M. F., Saleh, R. M., El Hosary, A. A. (2016). Novel corrosion inhibitors for acidizing oil wells. Materials and Corrosion, 68 (3), 355–360. doi: [10.1002/maco.201609146](https://doi.org/10.1002/maco.201609146).
17. Aymanov, R. D. (2009). Razrabotka i zashchitnye svoystva ingibitorov serovodorodnoy i uglekislотноy korrozii stali na osnove azot-, fosforsoderzhashchih soedineniy. Kazan', 20.
18. Arslanov, A. K., Alyab'ev, A. S., Sadretdinov, I. F., Rafikova, R. M. (2011). Issledovanie zashchitnykh svoystv ingibitora korrozii TAL-2513-R v nekotorykh korroziionnykh sredah gravimetricheskim metodom. Neftegazopererabotka-2011. Ufa, 153.
19. Doroshenko, T., Liashchuk, S., Yenia, V., Boldyreva, F. (2012). Protikorozijnny vlastyosti 4-zamishchenykh 2-aminotiazoliv ta yikh pokhidnykh. Problemy koroziji ta protykorozijnnoho zakhystu materialiv, 1, 252–256.
20. Obraztsov, V., Starov, R., Amirulloieva, N., Atanov, Ye. (2012). Inhibuiucha ta deemuulhuiuucha diya polielektrolitiv pry pervynni pererobtsi

- nafty. Problemy koroziji ta protykorozijnogo zakhystu materialiv, 1, 232–237.
21. Jamal Abdul Nasser, A., Anwar Sathiq, M. (2017). Comparative study of N -[(4-methoxyphenyl) (morpholin-4-yl)methyl]acetamide (MMPA) and N -[morpholin-4-yl(phenyl)methyl]acetamide (MPA) as corrosion inhibitors for mild steel in sulfuric acid solution. Arabian Journal of Chemistry, 10, S261–S273. doi: [10.1016/j.arabjcs.2012.07.032](https://doi.org/10.1016/j.arabjcs.2012.07.032)
 22. Granero, M. F. L., Matai, P. H. L. S., Aoki, I. V., Guedes, I. C. (2009). Dodigen 213-N as corrosion inhibitor for ASTM 1010 mild steel in 10 % HCL. Journal of Applied Electrochemistry, 39 (8), 1199–1205. doi: [10.1007/s10800-009-9785-6](https://doi.org/10.1007/s10800-009-9785-6)
 23. Xia, S., Qiu, M., Yu, L., Liu, F., Zhao, H. (2008). Molecular dynamics and density functional theory study on relationship between structure of imidazoline derivatives and inhibition performance. Corrosion Science, 50 (7), 2021–2029. doi: [10.1016/j.corsci.2008.04.021](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.04.021)
 24. Gajek, A., Zakroczymski, T., Topilnytsky, P., Romanchuk, V. (2012). Protective properties and spectral analysis of nitrogen- and oxygen-containing corrosion inhibitors for oil equipment. Chemistry & Chemical Technology, 6 (2), 209–219.
 25. Medvedeva, M. L. (2005). Korrozija i zashchita oborudovaniya pri pererabotke nefi i gaza. Moscow: FGUP Izd-vo «Nef't i gaz», 312.

Надійшла (received) 06.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження антикорозійних властивостей потенційних інгібіторів корозії, призначених для нафтопереробної промисловості/ Романчук В. В., Топільницький П. І., Чан Куок Кхань//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.103–109. – Bibliogr.:25 – ISSN 2079-5459

Исследование противокоррозионных свойств потенциальных ингибиторов коррозии, предназначенных для нефтеперерабатывающей промышленности/ Романчук В. В., Топильницький П. И., Чан Куок Кхань //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.103–109. – Bibliogr.:25. – ISSN 2079-5459

Study of anticoroiic properties of corrosion potential inhibitors intended for oil refining industry/ Romanchuk V., Topilnytskyu P. Tran Quoc Khanh //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.103–109. – Bibliogr.:25. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Романчук Вікторія Володимирівна – Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Кафедра хімічної технології переробки нафти та газу, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013, E-mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Романчук Вікторія Владимировна – Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Кафедра химической технологии переработки нефти и газа, Национальный университет «Львовская политехника», ул. Ст. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013, E-mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Romanchuk Viktoria – PhD, Science Associate Research, Department of Chemistry and Technology of Petroleum, National University "Lvivska Polytechnica", St. Bandery, str., 12, Lviv, Ukraine, 79013, E-mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Топільницький Петро Іванович – Кандидат технічних наук, доцент, Кафедра хімічної технології переробки нафти та газу, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013, E-mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Топильницький Петр Иванович – Кандидат технических наук, доцент, Кафедра химической технологи переработки нефти и газа, Национальный университет «Львовская политехника», ул. Ст. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013, E-mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Topilnytskyu Petro – PhD, Associate Professor, Department of Chemistry and Technology of Petroleum, National University "Lvivska Polytechnica", St. Bandery, str., 12, Lviv, Ukraine, 79013, E-mail: topoil@polynet.lviv.ua.

Чан Куок Кхань – Магістр, Кафедра хімічної технології переробки нафти та газу, Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013.

Чан Куок Кхань – Магістр, Кафедра химической технологи переработки нефти и газа, Национальный университет «Львовская политехника», ул. Ст. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013.

Tran Quoc Khanh – Master, Department of Chemistry and Technology of Petroleum, National University "Lvivska Polytechnica", St. Bandery, str., 12, Lviv, Ukraine, 79013.