

РОЗРОБКА НОВИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ АГРЕСИВНОСТІ НАФТОВМІСНИХ ВОД

Шуриберко М. М., Гомеля М. Д., Глущенко М. О., Чупрова К. А., Оверченко Т. А.

1. Вступ

Агресивна дія корозійних середовищ призводить до посилення корозії обладнання, резервуарів, труб та трубопровідної арматури [1].

Корозійна агресивність водонафтової емульсії змінюється в залежності від складу водної фази, її співвідношення з вуглеводневою фазою, складу і кількості газоподібних речовин.

При розробці нафтових родовищ зі свердловини на поверхню надходить нафтогазоводяна суміш, яка складається з нафти, нафтового газу та пластової води. Нафта і нафтовий газ підлягають подальшому очищенню (видалення механічних домішок, солей, сірководню, вуглекислого газу тощо), а відокремлена пластова вода утилізується для різних потреб родовища.

Корозійна агресивність складових, що виділяються в процесі обробки нафти, залежить від їх хімічного складу та інших факторів.

Вуглеводневий газ, відокремлюваний від нафти, складається з суміші насичених вуглеводнів, які в корозійному відношенні не є небезпечними. Ці гази містять домішки сірководню і вуглекислого газу, а при видобутку і переробці нафти до їх складу ще додається кисень повітря. Тому в даному випадку корозійні процеси протікають особливо інтенсивно.

За своїми діелектричними властивостями газовий конденсат близький до нафти, але при наявності сірководню, вуглекислого газу, кисню і води він стає корозійно-активним.

Вміст сірки в більшості нафт не перевищує 0,5 %. В нафті сірка може бути у вільному стані, у вигляді сірководню і сірчистих органічних сполук.

Пластові води містять велику кількість домішок (хлориди, сульфати, карбонати лужних і лужно-земельних металів) і являють собою складні багатокомпонентні системи. Відповідно вони мають високу електропровідність, що сприяє інтенсивному протіканню електрохімічної корозії. Корозійний вплив води на конструкційні матеріали залежить від загальної мінералізації води [2]. У жорсткій воді утворення захисної вапняної плівки більш імовірно [3], ніж у м'якій, тому жорсткі води менш агресивні, ніж м'які, по відношенню до сталі. Крім того, утворені продукти корозії у вигляді осадів сульфідів і оксидів заліза мають високі абразивні властивості і в потоці води підсилюють корозію.

Нафтопродукти, які застосовуються в різних галузях промисловості, також мають високу корозійну агресивність. Так, наприклад, нефраси – нафтові розчинники, характеризуються:

- здатністю видаляти органічні забруднення з поверхні металів;
- швидко розчинятися;

– утворювати мінімальну кількість відкладень та через наявність в розчинниках сірчистих сполук мають високу корозійну агресивність.

Як видно з вище описаного, через широкий якісний і кількісний спектр складу розчинів проблема боротьби з корозією сталі в водонафтовому середовищі є досить складною та актуальною. Тому актуальними є дослідження з пошуку ефективних композицій для зниження корозійної агресивності нафтовмісних вод в залежності від їх нафто-мінерального складу та визначення оптимальних параметрів.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єкт дослідження – екологічно безпечні системи в нафтовидобувній та нафтопереробній промисловості.

Всі стадії нафтокористування – видобування-переробка-використання – супроводжуються забрудненням навколишнього середовища [4, 5]. Суттєві забруднення виникають при видобуванні, транспортуванні та розливі нафти, скиді стічних вод, спалюванні та зберіганні нафтових відходів. Більшість відомих способів утилізації нафтових відходів орієнтовані на використання потужного дорогого обладнання. Відповідно, розробка нових технологій знешкодження та зниження класу небезпеки нафтовмісних емульсій є важливою науково-практичною задачею.

З іншого боку, через наявність агресивних складових у складі нафтовмісних мінералізованих вод (сірководню, вуглекислого газу тощо) зростає швидкість корозії металевих конструкцій, що призводить до швидкого руйнування обладнання та трубопроводів. І як наслідок, суттєво зростає ризик несподіваного потрапляння нафти та нафтопродуктів у довкілля. Крім того, підвищена корозійна агресивність нафто-мінералізованих середовищ призводить до значних витрат матеріалів та енергії.

Тому одним з першочергових завдань є захист металевих конструкцій від корозії у нафті та водонафтових емульсіях.

Одним зі шляхів вирішення цього завдання є підбір та застосування на всіх стадіях нафтокористування інгібіторів корозії металів. Основними вимогами до перспективних інгібіторів є їх висока ефективність дії, нетоксичність та невисока вартість [1, 2].

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – розробка композицій для зниження корозійної агресивності нафтовмісних вод та визначення їх ефективності.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Визначити швидкості корозії сталі 20 в залежності від хімічного складу водних розчинів при температурі 80 °С.
2. Оцінити ефективність застосування алкілімідазолінів з метою зменшення швидкості корозії металу для середовищ різного водно-нафтового складу.
3. Встановити вплив хімічного складу вихідних водно-органічних розчинів та запропонованих композицій на зниження швидкості корозії металу.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Небезпека корозійних процесів супроводжує практично всі галузі промисловості, зокрема водоциркуляційні системи охолодження підприємств [1, 2].

Через особливий органо-мінеральний склад середовищ корозія обладнання, яке застосовується при видобуванні нафти та природного газу, характеризується певними відмінностями [4, 5].

Основним ефективним способом боротьби з корозією є застосування інгібіторів корозії металів [6, 7].

Одна з причин, яка існує при розробці нафтових родовищ зі свердловини, є вертикальне положення труб на нафтових родовищах. Навіть при застосуванні новітніх реагентів ефект інгібування може бути незначний. Це пояснюється ускладненням процесу розповсюдження інгібіторів корозії та стабілізаторів осадів по всій довжині труби [8]. Для покращення надходження інгібітора на глибину розроблено капсули з геля альгінату кальцію, які, крім інгібітора, містять важку добавку $BaSO_4$.

Крім того, процес інгібування труб при видобуванні нафти ускладнюється високими глибинними температурами ($>150\text{ }^{\circ}\text{C}$) та тисками ($>1020,6895\text{ атм.}$), високим вмістом розчинених речовин. З розвитком шельфового нафтового та газового виробництва в ультра-глибокій воді все більше і більше свердловин піддаються впливу надзвичайно високої температури і тиску в умовах анодного стану. Для запобігання блокування труб продуктами корозії та накипу, а саме сидеритом ($FeCO_3$) та окисом заліза (Fe_2O_3), в таких жорстких умовах запропоновано використовувати сульфіронову полікарбонатову кислоту, полівінілсульфонат, карбоксиметил інулін та цитрат натрію [9].

Інгібітори нафтових родовищ використовуються протягом багатьох десятиліть для боротьби з карбонатним та сульфатним накипом, а також з корозією труб [10]. Проте, лише деякі з них демонструють гарне біологічне розкладання, що робить їх екологічно прийнятними в районах із суворими вимогами. В якості потенційних інгібіторів нафтових родовищ запропоновано використовувати новий клас полікарбонатних полімерів з карбоксилатними та фосфонатними групами [11]. Дані композиції забезпечують інгібування накипу у вигляді кальциту і бариту як в нових, так і у вкритих накипом трубках при $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Зниження корозійної агресивності вод, які містять нафтопродукти, також пов'язано з певними складностями, основною з яких є різноманітність хімічного (фракційного) складу. Так, наприклад, петролейному ефіру не може бути присвоєно кваліфікацію реактиву, так як в ньому немає основного компонента для нормування.

Виходячи з аналізу літературних даних, можна зробити висновок, що захист свердловин від корозії та накипу при видобуванні нафти є реально складним та багатогранним процесом.

Новітні композиції при нафтовидобуванні та нафтопереробці повинні бути комплексними, тобто одночасно знижувати корозійну агресивність середовищ та зменшувати осадоутворення, бути здатними працювати при високих температурах та бути екологічно сприятливими.

5. Методи дослідження

Відомо [10], що ароматичні азотвмісні сполуки мають інгібуючі властивості щодо корозії металу в агресивних середовищах. Не дивлячись на те, що алкілімідазоліни при доступі атмосферної вологи за підвищеної температури можуть по-

вільно гідролізуватись до амідно-амінів, зміна хімічного складу інгібітора не позначається на його ефективності в умовах вуглекислотної та сірководневої корозії. Тому в роботі були розроблені композиції на основі алкілімідазолінів та визначені їх ефективності щодо захисту сталі 20 від корозії масометричним методом.

Масометричне визначення швидкості корозії проводили в нерухомих середовищах за різницею мас зразку, що кородує, в грамах, до та після корозії. Тривалість дослідів становила 9 години при температурі 30 °С та 5 годин при температурі 80 °С.

Масометричний показник корозії, г/(м²·год):

$$K_m = \frac{(m_1 - m_2)}{S \cdot \tau}, \quad (1)$$

де m_1 – первісна маса зразка, г;

m_2 – маса зразка після випробування, г;

S – площа зразка, м²;

τ – тривалість випробувань, год.

На основі розрахованих значень масометричних показників корозії визначали коефіцієнт гальмування та ступінь захисту від корозії.

Коефіцієнт гальмування (K_r):

$$K_r = \frac{W^o}{W_i}, \quad (2)$$

де W^o – масометричний показник корозії без застосування інгібітора, г/(м²·год);

W_i – масометричний показник корозії із застосування інгібітора, г/(м²·год).

Ступінь захисту від корозії, %:

$$Z = \left(1 - \frac{1}{K_r}\right) \cdot 100. \quad (3)$$

В якості середовища використовували модельні розчини на основі дистильованої або водопровідної води з додаванням NaCl (30 г/дм³ або 100 г/дм³), CH₃COOH (3 г/дм³) та нафти або ефіру петролейного.

6. Результати дослідження

На першому етапі досліджень визначали вплив хімічного складу водних розчинів на швидкість корозії сталі 20 (табл. 1).

Як видно з приведених результатів (табл. 1), солоні розчини (дистильована вода; 30 г/дм³ NaCl; 3 г/дм³ CH₃COOH) характеризуються високою корозійною агресивністю. Швидкість корозії такого розчину становить 4,0352505 г/(м²·год). Присутність сульфату натрію зменшує агресивність води в 1,5 рази ($W=2,643785$ г/(м²·год) за рахунок зв'язування розчиненого у воді кисню сульфатом натрію.

Таблиця 1

Залежність швидкості корозії сталі 20 від хімічного складу водних розчинів при температурі 80 °С

Модельний розчин	Тип розчину	Швидкість корозії, W , г/(м ² ·год)
77 см ³ мінералізованої води: – дистильована вода; – 30 г/дм ³ NaCl; – 3 г/дм ³ CH ₃ COOH	P-1	4,0352505
77 см ³ мінералізованої води: – дистильована вода; – 30 г/дм ³ NaCl; – 3 г/дм ³ CH ₃ COOH; – 500 г/дм ³ Na ₂ SO ₃	P-2	2,643785
77 см ³ мінералізованої води: – дистильована вода; – 30 г/дм ³ NaCl; – 3 г/дм ³ CH ₃ COOH 23 см ³ нафти	P-3	2,820036
77 см ³ мінералізованої води: – дистильована вода; – 30 г/дм ³ NaCl; – 3 г/дм ³ CH ₃ COOH 23 см ³ нафти (30 °С)	P-3*	0,320234
77 см ³ мінералізованої води: – водопровідна вода; – 30 г/дм ³ NaCl; – 3 г/дм ³ CH ₃ COOH 23 см ³ нафти	P-4	4,71243
77 см ³ мінералізованої води: – водопровідна вода; – 100 г/дм ³ NaCl; – 3 г/дм ³ CH ₃ COOH 23 см ³ нафти	P-5	5,510204

Примітка: * – температура розчину 30 °С

Нафта сама по собі має інгібуючий ефект. Так, при додаванні в солоний розчин нафти (розчин:нафта – 3,35:1) спостерігається зменшення майже в 2 рази швидкості корозії сталі при температурі 80 °С. Даний показник знижується до 2,820036 г/(м²·год). А при температурі 30 °С швидкість корозії становить всього 0,320234 г/(м²·год).

Мінералізація води суттєво впливає на її корозійну агресивність. Як видно з табл. 1, при збільшенні мінералізації води (заміна дистильованої води на водопровідну воду при всіх інших однакових концентраціях солей) швидкість корозії металу зростає до 4,71243 г/(м²·год). Це в 1,67 рази більше, ніж в разі застосування розчину, приготовленого на дистильованій воді. А зі збільшенням ще і сольової складової розчину (100 г/дм³ NaCl) швидкість корозії сталі зростає до 5,510204 г/(м²·год).

На другому етапі роботи визначали вплив алкілімідазолінів на корозійну агресивність нафтовмісних водних розчинів (P-1, P-2, P-3, P-3*, P-4, P-5) (рис. 1). Діапазон робочих концентрацій становив (0–50 мг/дм³).

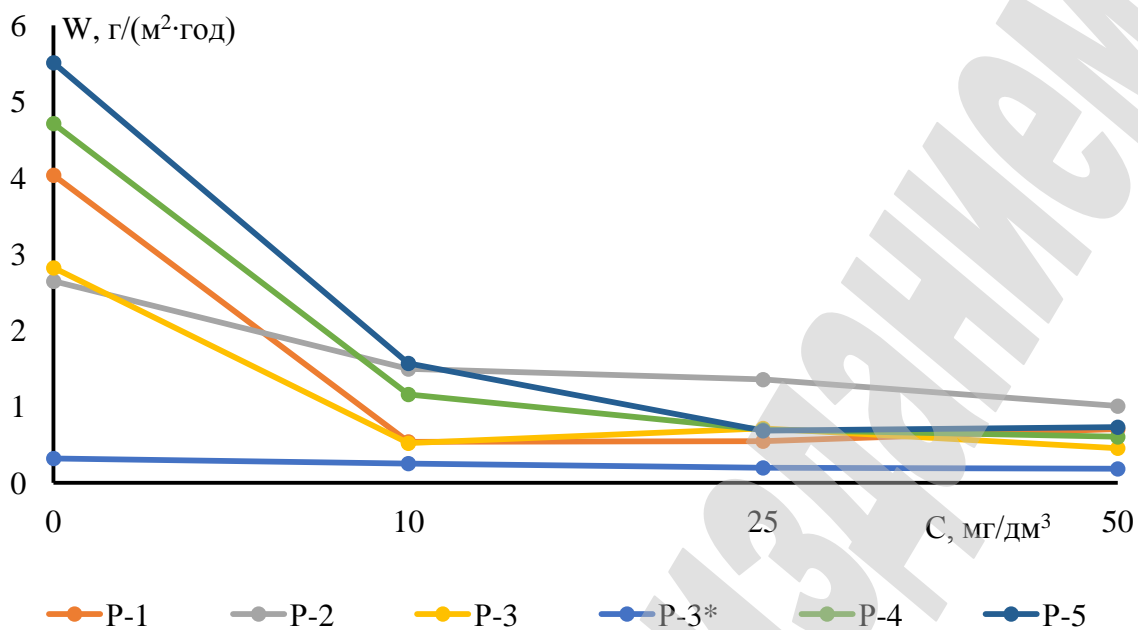


Рис. 1. Зменшення швидкості корозії сталі 20 в залежності від складу вихідного розчину P-1–P-5 (табл. 1) та концентрації алкілімідазолінів при температурі 80 °С

Інтенсивність зменшення швидкості корозії металу, як видно з рис. 1, суттєво залежить від агресивності вихідного середовища. Чим агресивніше середовище, тим більший прояв ефективності алкілімідазолінів. Для самого агресивного розчину (P-5) швидкість корозії зменшується з 5,510204 г/(м²·год) при концентрації 0 мг/дм³ до 0,68323 г/(м²·год) при концентрації 25 мг/дм³. Наявність нафти у розчині природньо зменшує вихідну агресивність води. Вихідна швидкість корозії нафтовмісного розчину становить 2,820036 г/(м²·год). Використання алкілімідазолінів у концентрації 10 мг/дм³ для такого розчину призводить до зменшення швидкості корозії до 0,51948 г/(м²·год). І це спостерігається при температурі 80 °С. Для 30 °С, по-перше, вихідна швидкість корозії незначна (0,320234 г/(м²·год)), по-друге, при використанні алкілімідазолінів вона практично не змінюється і становить 0,196878 г/(м²·год) при дозі інгібітора 25 мг/дм³.

Для підвищення ефективності алкілімідазолінів були розроблені композиції на їх основі. В роботі визначались ефективності композицій алкілімідазолінів+бензотриазол у різних співвідношеннях компонентів. Результати по визначенню коефіцієнту гальмування (K_f) та ступеню захисту від корозії (Z) представлено в табл. 2.

З приведених у табл. 2 результатів видно, що мінералізовані розчини, які містять хлорид натрію, є дуже агресивними щодо корозії металу. Застосування алкілімідазолінів в якості інгібіторів корозії сталі призводить до захисту металу. Максимальний захисний ефект спостерігається при концентрації інгібітора 10 мг/дм³. При цьому ступінь захисту від корозії складає 86,67 %. Подальше збільшення концентрації алкілімідазолінів незначно зменшує позитивний ефект і при концентрації 50 мг/дм³ ступінь захисту від корозії знижується до 82,52 %. Бензотриазол – менш ефективний інгібітор в порівнянні з алкілімідазолами. Так, при його концентрації 25 мг/дм³ ступінь захисту від корозії становить всього 40,41 %. Композиції на основі алкілімідазолінів та бензотриазолу не при-

зводять до підвищення ступеню захисту від корозії, а носять приблизно усереднене значення цього показника як було показано по окремим компонентам.

Таблиця 2

Залежності коефіцієнту гальмування (K_G) та ступеню захисту від корозії (Z) сталі 20 від хімічного складу водних розчинів та композицій при температурі 80 °С

Тип розчину	Реагент	Швидкість корозії, W , г/(м ² ·год)	Коефіцієнт гальмування, K_G	Ступінь захисту, Z , %
1	2	3	4	5
P-1	–	4,035251	–	–
	10 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,538033	7,50	86,67
	25 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,547310	7,37	86,43
	50 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,705009	5,72	82,52
	25 мг/дм ³ бензтриазол	2,404614	1,68	40,41
	10 мг/дм ³ алкілімідазолінів 10 мг/дм ³ бензтриазол	1,892393	2,13	53,10
	25 мг/дм ³ алкілімідазолінів 25 мг/дм ³ бензтриазол	1,512059	2,67	62,53
	50 мг/дм ³ алкілімідазолінів 50 мг/дм ³ бензтриазол	1,512059	2,65	62,32
P-2	–	2,643785	–	–
	10 мг/дм ³ алкілімідазолінів	1,493506	1,77	43,519
	25 мг/дм ³ алкілімідазолінів	1,354360	1,95	48,77
	50 мг/дм ³ алкілімідазолінів	1,066790	2,48	59,65
P-3	–	2,820036	–	–
	10 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,51948	5,43	87,58
	25 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,71429	3,95	74,67
	50 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,45455	6,20	83,88
	25 мг/дм ³ алкілпіридинів	2,814410	1,01	0,216

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
P-3	25 мг/дм ³ алкілімідазолінів 25 мг/дм ³ алкілпіридинів	0,825190	3,42	70,74
P-3*	–	0,320234	–	–
	10 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,253128	1,27	20,96
	25 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,196878	1,63	38,52
	50 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,183555	1,75	42,68
	25 мг/дм ³ бензтриазолу	0,234099	1,37	26,90
	50 мг/дм ³ бензтриазолу	0,215692	1,49	32,65
P-4	–	4,71243	–	–
	10 мг/дм ³ алкілімідазолінів	1,159555	4,06	75,39
	+25 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,695733	6,77	85,24
	+50 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,602968	7,82	87,21
	+25 мг/дм ³ бензтриазолу	2,502218	1,88	46,90
	+50 мг/дм ³ бензтриазолу	1,748004	2,70	62,91
P-5	–	5,510204	–	–
	25 мг/дм ³ алкілімідазолінів	0,683230	8,07	87,60
	25 мг/дм ³ бензтриазол	1,889973	2,92	65,70
	10 мг/дм ³ алкілімідазолінів 10 мг/дм ³ бензтриазол	0,630798	8,74	88,55
	25 мг/дм ³ алкілімідазолінів 25 мг/дм ³ бензтриазол	0,575139	9,58	89,56
	50 мг/дм ³ алкілімідазолінів 50 мг/дм ³ бензтриазол	0,575139	9,58	89,56

Примітка: * – температура розчину 30 °С

Мінералізована вода, в якій присутній сульфід натрію (P-2), менш агресивна в порівнянні з розчином P-1. Проте і ефект застосування алкілімідазолінів в даному випадку значно менший. При концентраціях інгібітора на рівні 10–50 мг/дм³ ступінь захисту від корозії знаходиться в діапазоні 43–60 %.

Нафтовмісні мінералізовані розчини (P-3) менш агресивні в порівнянні з розчинами без нафти (P-1), але швидкість корозії в таких розчинах все рівно висока (табл. 1). Алкілімідазоліни в нафтовмісних розчинах зумовлюють захист металу від корозії. Оптимальна доза інгібітора становить 10 мг/дм³ ($Z=81,58\%$). Подальше збільшення концентрації не сприяє зростанню ступеню захисту від корозії сталі 20.

Використання алкілпіридинів в якості інгібіторів корозії сталі в нафтовмісних водах має нульовий ефект. Коефіцієнт гальмування складає 1,01. Присутність алкілпіридинів в композиції з алкілімідазолінами (25 мг/дм³ і 25 мг/дм³ відповідно) не покращує захисний ефект. Ступінь захисту від корозії практично такий же, як і при використанні чистих алкілімідазолінів (25 мг/дм³) і складає 70,74 %.

Алкілімідазоліни та бензтриазол в нафтовмісному розчині демонструють не суттєвий захисний ефект. Так, коефіцієнт гальмування для даних інгібіторів в концентраціях 10–50 мг/дм³ знаходиться в межах 1,27–1,75. Більші значення даного показника характерні для алкілімідазолінів. Це відповідає ступеню захисту від корозії на рівні 20,96–42,68 %.

При збільшенні мінералізації води (P-4, P-5) швидкість корозії металу зростає (табл. 1). В таких жорстких умовах алкілімідазоліни та бензтриазол забезпечують високий ступінь захисту сталі від корозії. Алкілімідазоліни в концентраціях 10, 25, 50 мг/дм³ забезпечують коефіцієнт гальмування на рівні 4,06, 6,77, 7,81 відповідно, що відповідає ступеню захисту 75,39, 85,24, 87,21 %.

Бензтриазол як інгібітор менш ефективний. Максимальний ефект ($Z=62,91\%$) відповідає дозі бензтриазолу 50 мг/дм³.

Зі збільшенням концентрації солей в розчині захисний ефект незначно підвищується, і при дозі 25 мг/дм³ для алкілімідазолінів ступінь захисту зростає до 87,60 %, а для бензтриазолу – до 65,70 %.

Комплексне використання алкілімідазолінів та бензтриазолу для жорстких мінералізованих нафтовмісних вод при температурі 80 °С забезпечує ефективний захист металу від корозії. В композиціях зі співвідношенням реагентів (10+10) мг/дм³, (25+25) мг/дм³, (50+50) мг/дм³ коефіцієнт гальмування становить 8,74–9,58, що відповідає ступеню захисту від корозії 88,55–89,56 %.

В роботі також проводились дослідження по визначенню ефективності композицій для зниження корозійної агресивності вод при використанні в якості нафтопродукту петролейного ефіру (нафтовий ефір, масло Шервуда). Це суміш легких аліфатичних вуглеводнів (пентанів і гексанів), яка отримується з супутніх нафтових газів і легких фракцій нафти. Результати по визначенню ефективності запропонованих інгібіторів наведено в табл. 3.

Як видно з табл. 3, зі збільшенням температури з 30 °С до 80 °С швидкість корозії в мінералізованому розчині з ефіром зростає в 10 разів – з 0,311353 г/(м²·год) до 3,089054 г/(м²·год). Присутність у розчині сульфідів також викликає додаткову агресивність. При температурі 30 °С і концентрації сульфідів

натрію 5 г/дм³ швидкість корозії складає 0,4204 г/(м²·год). Обумовлено це тим, що петролейний ефір є леткою речовиною з низькою температурою випаровування.

При застосуванні в якості інгібітора корозії сталі алкілімідазолінів в концентрації 50 мг/дм³ ступінь захисту від корозії незначний і становить 31,379 % для температури 30 °С. А при температурі 80 °С захисний ефект зникає ($W=4,369202$ г/(м²·год)). Пояснюється це тим, що при підвищенні температури легко руйнується гідрофобна захисна плівка на поверхні металу. Дана суміш вуглеводнів легко видаляється із поверхні сталі при нагріванні з використанням інгібітора. Сам інгібітор захисної плівки створити не може. В присутності сульфату натрію у розчині при температурі 30 °С інгібуючий ефект проявляється трохи більше за рахунок зв'язування кисню сульфат-аніонами. При цьому ступінь захисту від корозії складає 45,305 %.

Таблиця 3

Залежність ступеню захисту від корозії сталі 20 від кількісного та якісного складу вихідного розчину та інгібітора, температури ($t=30$ °С (94 години), $t=80$ °С (5 годин))

Модельний розчин	Реагент	Температура, t , °С	Швидкість корозії, W , г/(м ² ·год)	Коефіцієнт гальмування, K_2	Ступінь захисту, Z , %
77 см ³ мінералізованої води: – дистильована вода; – 30 г/дм ³ NaCl; – 3 г/дм ³ CH ₃ COOH 23 см ³ ефіру петролейного	–	30	0,311353	–	–
	–	80	3,089054	–	–
	50 мг/дм ³ алкілімідазолінів	30	0,213654	1,457	31,379
		80	4,369202	<1	–
	50 мг/дм ³ алкілпіридинів	30	0,383393	<1	–
		80	7,1872223	<1	–
77 см ³ мінералізованої води: – дистильована вода; – 30 г/дм ³ NaCl; – 3 г/дм ³ CH ₃ COOH; – 5 г/дм ³ Na ₂ SO ₃ 23 см ³ ефіру петролейного	–	30	0,4204	–	–
	50 мг/дм ³ алкілімідазолінів		0,229937	1,828	45,305
	50 мг/дм ³ алкілпіридинів		0,328129	1,281	21,948

Застосування в якості інгібіторів корозії сталі алкілпіридинів (50 мг/дм³) не призводить до позитивного ефекту (табл. 1). Навпаки, даний реагент викликає збільшення корозії металу. Лише в присутності сульфату натрію при 30 °С спостерігається незначний результат. Ступінь захисту становить в даному випадку 21,948 %.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Інгібітори на основі алкілімідазолінів є перспективними не лише в нафтопереробці, але і при захисті трубопроводів і обладнання від корозії у

водному середовищі з високим рівнем мінералізації. В присутності нафти та нафтопродуктів у значних концентраціях завдяки адсорбції імідазолінових азотмістких кілець на металі відбувається гідрофобізація його поверхні за рахунок вуглеводневих радикалів імідазолінів. Це призводить до утворення міцної вуглеводневої плівки на металі, яка надійно захищає його від корозії. Перевагою алкілімідазолінів також є те, що за рахунок гідрофільної та гідрофобної складових їхніх молекул вони добре розчиняються як у нафтопродуктах, так і у водному середовищі. Це забезпечує високу їх ефективність як у воді у присутності нафтопродуктів, так і у нафті, в присутності води.

Weaknesses. Головним недоліком інгібіторів на основі алкілімідазолінів є їх відносно висока собівартість, так як один з основних компонентів їх синтезу є поліетиленполіаміни, які на сьогодні на Україні не виробляються. Тому ціна їх на ринку є досить високою.

Opportunities. В разі застосування інгібіторів корозії сталі на основі алкілімідазолінів можливо досягти високої ефективності захисту від руйнування як нафтопроводів, де, крім нафти, завжди присутні домішки мінералізованої води, так і водопроводів, де у високомінералізованих водах присутні домішки нафти. Крім того, при використанні відходів виробництв – кислот талового масла, або при застосуванні рослинних олів замість синтетичних карбонових кислот в процесах виробництва алкілімідазолінів можна суттєво знизити їх собівартість.

Threats. Враховуючи те, що трубопроводи, по яких транспортують нафту або мінералізовану воду, використовуються і у зимовий період, то існує загроза замерзання, кристалізації або значного загустіння імідазолінів при зберіганні на неопалювальних складах. Для запобігання цьому їх необхідно використовувати у вигляді 40–50 % розчинів у керосині.

8. Висновки

1. Визначено корозійну агресивність композицій різного водно-нафто-мінерального складу. Показано, що мінералізовані водні розчини є більш корозійно агресивними, аніж їх композиції з нафтою. Швидкість корозії мінералізованих вод в залежності від концентрації солей коливається в межах 4,035251–5,510204 г/(м²·год). Для нафтовмісних емульсій даний показник становить 2,820036 г/(м²·год). До певної міри корозійна активність мінералізованих водних розчинів знижується в присутності сульфату натрію ($W=2,643785$ г/(м²·год)).

2. Показано, що інгібітор на основі алкілімідазоліну забезпечує високу ефективність захисту сталі від корозії у мінералізованих водно-нафтових емульсіях при температурах від 30 °С до 80 °С. Ступінь захисту при дозах 10–50 мг/дм³ сягає 82–86 %. Менш ефективним було використання бензтриазолу.

3. Встановлено, що інгібітори на основі алкілімідазоліну у водно-органічних емульсіях на основі мінералізованої води та петролейного ефіру ефективні лише за невисоких температур. При температурі 30 °С ступінь захисту від корозії становить 31,379–45,305 %. При підвищених температурах, за рахунок високої летючості петролейного ефіру, формування захисної адсорбційної плівки на поверхні сталі не відбувається. Відповідно, захисний ефект відсутній.

Література

1. New inhibitors of corrosion and depositions of sediments for water circulation systems / Gomelya N. D. et. al. // *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2017. Vol. 39, Issue 2. P. 92–96. doi: <http://doi.org/10.3103/s1063455x17020060>
2. Сучасні методи кондиціонування та очистки води в промисловості. Монографія / Гомеля М. Д., Радовенчик В. М., Шаблій Т. О. К.: Графіка, 2007. 168 с.
3. Модифікація карбонатно-накипних осадів для захисту від корозії теплообмінної поверхні / Пагер С. М., Герасименко Ю. С. // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2013. № 13. С. 54–65.
4. Переработка и утилизация нефтесодержащих отходов: монография. 2-е изд. испр. и доп. / Соколов Л. И. М.: Инфра-Инженерия, 2017. 160 с.
5. Источники нефтесодержащих вод / Злыднев Н. Н., Еськин А. А., Ткач Н. С. // *Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XXXVI междунар. науч.-практ. конф.* Новосибирск: СибАК, 2014. № 7 (32). URL: <https://sibac.info/conf/tech/xxxvi/38910>
6. Corrosion inhibition of N80 steel simulated in an oil field acidification environment / Du J. et. al. // *International Journal of Electrochemical Science*. 2018. Vol. 13, Issue 6. P. 5810–5823. doi: <http://doi.org/10.20964/2018.06.69>
7. Sharma P., Roy H. Mill scale corrosion and prevention in carbon steel heat exchanger // *High temperature materials and processes*. 2015. Vol. 34, Issue 6. P. 571–576. doi: <http://doi.org/10.1515/htmp-2014-0115>
8. Calcium alginate gel capsules loaded with inhibitor for corrosion protection of downhole tube in oilfields / Wang L. et. al. // *Corrosion Science*. 2015. Vol. 90. P. 296–304. doi: <http://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.10.026>
9. Evaluation of ferrous carbonate/iron oxides scaling risk under high temperature in the absence and presence of scale inhibitors: Proceedings / Yang C. et. al. // *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry*. The Woodlands, 2015. Vol. 2. P. 1080–1092. doi: <http://doi.org/10.2118/173785-ms>
10. Deyab M. A. Corrosion inhibition of heat exchanger tubing material (titanium) in MSF desalination plants in acid cleaning solution using aromatic nitro compounds // *Desalination*. 2018. Vol. 439. P. 73–79. doi: <http://doi.org/10.1016/j.desal.2018.04.005>
11. Synthesis and Characterization of Modified Aliphatic Polycarbonates as Environmentally Friendly Oilfield Scale Inhibitors / Mady M. F. et. al. // *Energy & Fuels*. 2018. Vol. 32, Issue 6. P. 6746–6755. doi: <http://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b01168>