

ОЦІНКА КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ МІНЕРАЛІЗОВАНИХ ПЛАСТОВИХ ВОД НАФТОВИХ РОДОВИЩ

Гомеля М.Д.¹, Степова О.В.²

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ

²Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

пр. Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава

alenastepovaja@gmail.com

У роботі проаналізовано результати досліджень корозійної активності мінералізованих вод різного рівня мінералізації в аеробних умовах та водно-нафтових сумішей, близьких за складом до пластових вод нафтових родовищ України щодо нелегваної сталі, міді, латуні та нержавіючої сталі. Визначено залежність швидкості корозії металів від рівня мінералізації, складу водно-нафтової суміші, концентрації оцтової кислоти. Показано, що в аеробних умовах швидкість корозії в основному визначається концентрацією кисню у воді. У водно-нафтових сумішах корозія залежить головним чином від водневої деполаризації і зростає із підвищенням вмісту карбонових кислот незалежно від співвідношення об'ємів нафти та водних розчинів солей. Суттєво швидкість корозії металів зростає із підвищенням температури. Встановлено, що швидкість корозії у мінералізованих водах та у сумішах мінералізованої води із нафтою зростає при підвищенні температури з 30° до 80°С у 3–6 разів, а у присутності нафти за температури 30°С швидкість корозії знижується в 1,5–2,0 рази. В присутності карбонових кислот швидкість корозії сталі Ст20 при 80°С зростає від 1,8920 до 3,8304 мм/рік при концентрації оцтової кислоти 0,5–3,0 г/дм³. Оцінка корозійної активності мінералізованих водних середовищ нафто-водних середовищ дозволяє оцінити екологічні загрози від руйнування трубопроводів залежно від складу середовища, що транспортується в трубопроводах. Крім того, при врахуванні залежності швидкості корозії металу від складу нафто-водної суміші можна вибирати та оцінювати ефективність інгібіторів корозії металів, що дозволить успішно запобігати даним загрозам при відносно незначних фінансових затратах. *Ключові слова:* мінералізація, нафтовмісні води, корозія металу, швидкість корозії, пасивація металу.

Estimation of corrosive activity of mineralized flat waters of oil conditions. M. Gomelya, O. Stepova. The results of research on corrosion activity of mineralized waters of different levels of mineralization in aerobic conditions and water-oil mixtures, similar in composition to the reservoir waters of oil deposits of Ukraine in relation to non-alloy steel, copper, brass and stainless steel, are analyzed in the work. The dependence of the rate of metal corrosion on the level of mineralization, the composition of the water-oil mixture, the concentration of acetic acid is determined. It is shown that in aerobic conditions, the rate of corrosion is mainly determined by the concentration of oxygen in water. In water-oil mixtures, corrosion mainly depends on hydrogen depolarization and increases with an increase in the content of carboxylic acids, regardless of the ratio of oil volumes and aqueous solutions of salts. Significantly, the rate of corrosion of metals increases with increasing temperature. It was established that the rate of corrosion in mineralized waters and in mixtures of mineralized water with oil increases with increasing temperature from 300 to 800C in 3–6 times, and in the presence of oil at 300C the rate of corrosion decreases by 1,5–2,0 times. In the presence of carboxylic acids, the corrosion rate of St20 at 800C increases from 1,8920 to 3,8304 mm/year at a concentration of acetic acid of 0,5 to 3,0 g/dm³. Assessment of the corrosion activity of mineralized aqueous media of oil and water media allows us to assess the environmental threats from the destruction of pipelines depending on the composition of the medium transported in the pipelines. In addition, taking into account the dependence of the rate of metal corrosion on the composition of the oil-water mixture, it is possible to select and evaluate the effectiveness of metal corrosion inhibitors, which will successfully prevent these threats with relatively small financial costs. *Key words:* mineralization, oil-containing water, corrosion of metal, corrosion rate, passivation of metal.

Постановка проблеми. Вміст води у нафті, що відбирається зі свердловин нафтових родовищ, залежить від характеристик родовища, терміну його експлуатації. В окремих випадках водно-нафтова суміш може містити близько 10% нафти. Часто з родовищ України видобувають трьохфазову суміш, що містить нафту, воду і газ. Спочатку від суміші відділяють газ, знижуючи тиск з 0,6 МПа до 0,4–0,5 МПа. В подальшому водно нафтова суміш подається на сепаратори

для розділення води від нафти. При цьому існує загроза відкладення осадів на поверхні трубопроводів та обладнання [1].

Значною мірою відклади карбонату та сульфату кальцію можливі в потоках під товарної води та у трубопроводах сирової нафти, де обводненість нафти сягає 50–70%. Після сепарації газу із сирової нафти він сепарується при тиску 0,25–0,4 МПа та для зневоднення емульсії до 20–30% нафта подається на уста-

новку для інтенсифікації зневоднення. Утворені при цьому потоки високо мінералізованих вод та обводнені потоки нафти мають високу корозійну активність та схильність до осадко відкладення [2].

Особливо висока корозійна активність та здатність до осадко відкладень спостерігається у пластових водах, солевміст у яких змінюється в широких межах [3; 4]. Досить значною є корозійна активність середовища в сирій нафті, в якій вміст води сягає 20–30%, а також у воді із вмістом води до 10%. Обумовлено це тим, що при перекачуванні нафти її підігривають до температури 70–80°C, що у присутності води спричиняє значну корозію сталевих трубопроводів при використанні труб із нелегованої сталі [1].

Одним із простих і надійних методів захисту нафтопроводів від внутрішньої корозії та руйнування є створення та застосування ефективних інгібіторів корозії. Одним із важливих етапів даних досліджень є розробка надійних методів контролю та оцінки рівня корозійної активності водно-нафтових сумішей.

Актуальність дослідження. Всі стадії нафто використання – видобування – транспортування – переробка – використання супроводжуються забрудненням навколишнього середовища [5; 6]. Суттєві забруднення виникають при видобуванні та транспортуванні нафти через розливи, пов'язані з руйнуванням трубопроводів. Більшість відомих способів утилізації нафтових відходів орієнтовані на використання потужного дорогого обладнання. Тому, розробка нових технологій знешкодження та зниження класу безпеки нафтовмісних емульсій, включаючи і зниження їх корозійної активності є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема відповідає актуальним напрямам науково-технічної діяльності на Україні, пов'язаними з вирішенням актуальних проблем екологічної безпеки держави в галузі промислових виробництв. Робота за даним напрямком виконувалась на кафедрі екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» напряму «Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології» на замовлення Міністерства освіти і науки України в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка екологічно чистих інгібіторів корозії металів, накипеутворення та біооброблення 0100U000940).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Небезпека корозійних процесів супроводжує практично всі галузі промисловості, зокрема водо циркуляційні системи охолодження підприємств [2; 3]. Через особливий органо-мінеральний склад середовища 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 та тисками, 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 сульфуроновану полі карбонову кислоту, полівінілсульфонат, карбоксиметал 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 із карбоксилатними та фосфонатними групами [11]. Ці композиції забезпечують інгібування накипу у вигляді кальциту і бариту як в нових, так і у вкритих накипом трубках при 130°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 і багатограничним процесом.

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

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. При оцінюванні загроз корозійних руйнувань нафтопроводів та трубопроводів для відведення

пластових вод корозійну активність середовища оцінюють за рівнем мінералізації водних фракцій. Проте не до кінця визначено вплив рівня концентрацій кисню, складу солей, нафтопродуктів та карбонових кислот на корозійну агресивність шахтних або пластових вод по відношенню до тих, або інших металів.

Метою роботи було визначення впливу рівня мінералізації води на її корозійну активність, встановлення залежності швидкості корозії металів від співвідношення у нафто-водній суміші об'ємів нафти та мінералізованої води, від вмісту карбонових кислот та температури.

Методологічне або загальнонаукове значення.

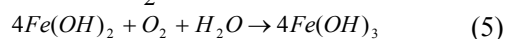
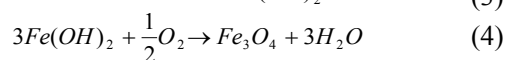
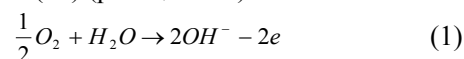
Результати наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні загрози від корозії трубопроводів та обладнання при використанні або утилізації шахтних вод, що дасть можливість розробити заходи по запобіганню виникнення шкідливих впливів при руйнуванні трубопроводів та скиді шахтних вод у довкілля.

Викладення основного матеріалу. Вивчено процеси корозії нелегованої сталі (переважно сталі Ст. 20 та Ст. 3) в модельних розчинах № 1 та № 2 (табл. 1), розчинів хлориду та сульфату натрію з концентраціями від 1 до 100 мг/дм³, суміші розчинів хлориду натрію з концентраціями по хлориду натрію 30 та 100 г/дм³ з нафтою при співвідношенні об'ємів водного розчину до об'єму нафти від 1:9 до 9,5:0,5 при температурах від 25 до 80⁰С. Суміші розчинів хлориду натрію та нафти містили оцтову кислоту в концентрації до 3 г/дм³. Процес корозії контролювали масометричним методом. Для порівняння використано водопровідну та артезіанську воду (табл. 1). Модельний розчин № 2 був близьким за складом до пластових вод свердловини № 204 Гнідинцівського нафтового родовища.

Із літературних джерел відомо, що корозійна активність розчинів хлориду натрію найвища при концентрації хлориду натрію 30 г/дм³ [12].

Максимум на графіку залежності швидкості корозії від концентрації хлориду натрію обумовлений достатньою розчинністю кисню у воді при $C_{\text{NaCl}} = 30 \text{ г/дм}^3$. З подальшим зростанням концентрації солі у воді швидкість корозії знижується. За нейтральних значень реакції середовища ($6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$) корозія металів в основному обумовлена концентрацією кисню (киснева деполяризація). Із підвищенням концентрації хлориду натрію швидкість корозії спочатку зростає, а після концентрації 30 г/дм³ швидкість корозії знижується, по мірі зниження концентрації кисню у воді.

Висока швидкість корозії металів у мінералізованих середовищах пов'язана з високою електропровідністю розчинів. У прісних водах, що мають низьку електропровідність, анодні і катодні ділянки розташовані близько одна від одної. В цьому випадку гідроксид аніони, що утворюються на катодних ділянках за реакцією 1 легко взаємодіють з катіонами заліза, що утворюються в катодній області (рівняння 2) з утворенням гідроксиду заліза (II), який після окислення переходить в мало розчинний ферит, або гідроксид заліза (III) (реакції 4 і 5):



Таким чином, плівка, що складається з $Fe(OH)_2$, Fe_3O_4 та $Fe(OH)_3$ щільно прилягає до поверхні металу і захищає його від корозії. При великій електропровідності мінералізованих розчинів катодні і анодні ділянки можуть знаходитись на значних відстанях. Це перешкоджає утворенню захисної плівки на поверхні металу, а значить корозія проходить значно швидше.

Таблиця 1

Характеристики водних середовищ, що використовувались при проведенні корозійних випробувань

Показник	Середовище				
	Водопровідна вода	Артезіанська вода	Модельний розчин		
			№ 1	№ 2	№ 3
Каламутність, мг/дм ³	0,7	0,1	0,5	0,7	0,6
pH	7,6	7,5	8,3	6,5	7,3
Жорсткість, мг-екв/дм ³	4,1	5,27	39,1	241,2	318,0
Лужність, мг-екв/дм ³	4,0	5,26	4,2	5,6	4,3
Концентрація Cu^{2+} , мг-екв/дм ³	3,0	4,1	21,0	180,4	180,2
Вміст Cl^- , мг-екв/дм ³	75,0	103,0	14875,0	44316,0	63960,0
Вміст SO_4^{2-} , мг-екв/дм ³	37,0	7,0	316,0	841,0	7969,0
Вміст $Na^+ + K^+$, мг/дм ³	54,0	75,0	8984,0	29809,0	28950,0
Вміст загального заліза, мг/дм ³	0,26	0,2	0,15	0,1	0,15
Мінералізація, мг/дм ³	410,0	435,0	25059,0	73533,0	94585,0

Таблиця 2

Залежність швидкості корозії сталі Ст. 3 та міді М-2 від концентрації розчинів хлориду та сульфату натрію в статичних умовах при 20° С

Концентрація солі, г/дм ³	<i>NaCl</i>		<i>Na₂SO₄</i>	
	метал		метал	
	Сталь Ст. 3	Мідь М-2	Сталь Ст. 3	Мідь М-2
Швидкість корозії, г/м ² год				
-	0,0233	0,0019	0,0241	0,0018
1	0,0313	0,0051	0,0450	0,0024
2	0,0339	0,0143	0,0449	0,0018
5	0,0393	0,0115	0,0426	0,0017
10	0,0351	0,0096	0,0407	0,0021
20	0,0368	0,0146	0,0491	0,0011
30	0,0435	0,0146	0,0361	0,0015
40	0,0325	0,0136	0,0447	0,0033
50	0,0393	0,0143	0,0463	0,0028
60	0,0397	0,0170	0,0329	0,0036
70	0,0309	0,0241	0,0320	0,0048
80	0,0306	0,0256	0,0257	0,0063
90	0,0380	0,0308	0,0277	0,030
100	0,0389	0,0348	0,0328	0,0060

Таблиця 3

Залежність швидкості корозії металів у водних розчинах від рівня їх мінералізації та типу металу при температурі 15° С

№ пп	Середовище	Мінералізація, мг/дм ³	Метал	Швидкість корозії	
				г/м ² год	мм/рік
1	Водопровідна вода	410	Сталь Ст. 3	0,0390	0,0435
			Мідь М-2	0,0053	0,0052
			Латунь Л62	0,0066	0,0068
			Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т	0,0008	0,0009
2	Артезіанська вода	435	Сталь Ст. 3	0,0324	0,0360
			Мідь М-2	0,0092	0,0090
			Латунь Л62	0,0112	0,0122
			Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т	0,0016	0,0017
3	Модельний розчин № 1	25029	Сталь Ст. 3	0,0480	0,05328
			Мідь М-2	0,0374	0,0364
			Латунь Л62	0,0386	0,0420
			Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т	0,0007	0,0008
4	Модельний розчин № 2	73533	Сталь Ст. 3	0,0628	0,0760
			Мідь М-2	0,0241	0,0235
			Латунь Л62	0,0339	0,0369
			Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т	0,0008	0,0009
5	Модельний розчин № 3	94585	Сталь Ст. 3	0,0675	0,0817
			Мідь М-2	0,0301	0,0294
			Латунь Л62	0,0389	0,0423
			Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т	0,0006	0,0007

При зростанні концентрації солей у водному середовищі зростають концентрації аніонів та катіонів, що суттєво прискорює анодне розчинення металу. Але при цьому суттєво знижується розчинність кисню у воді, що з одного боку призводить до погіршення умов пасивації металу, а з іншого боку – знижує швидкість катодного процесу. Тому, за певних умов швидкість процесу зростає із підвищенням концентрації солей у розчині, а при подальшому підвищенні концентрації солей в розчині швидкість корозії, після проходження через максимум, сповільнюється через зниження швидкості анодного процесу.

Було перевірено залежність швидкості корозії сталі Ст. 3 та міді М-2 від концентрації розчинів хлориду та сульфату натрію (табл. 2).

Як видно із таблиці, швидкість корозії сталі в розчині хлориду натрію зростала до концентрації 30 г/дм³ по хлориду натрію. Далі швидкість корозії поступово знижувалась до концентрації NaCl 70 г/дм³. У подальшому спостерігалось незначне підвищення швидкості корозії. У випадку корозії міді було зафіксовано різке підвищення швидкості її корозії вже при концентрації солі 2 г/дм³ (майже на порядок). Обумовлено це тим, що оксидна плівка на поверхні міді є досить щільною і добре захищає метал від корозії в прісній воді.

При підвищенні електропровідності водного середовища гідроксид міді утворюється у водному

розчині, що суттєво погіршує умови захисту металу від корозії.

У розчині сульфату натрію із зростанням концентрації солі швидкість корозії металу змінюється мало, або зростає дуже повільно. Обумовлено це тим, що мідь є стійкою до окислення металом і, можливо, в розчині сульфату натрію розчинення міді відбувається досить повільно. Принаймні повільніше, як у розчині хлориду натрію. Щодо корозії сталі у розчині сульфату натрію, то можна сказати, що швидкість корозії металу зростає до концентрації солі 50 г/дм³ і лише після цього повільно знижується при досягненні концентрації солі 100 г/дм³. Очевидно, що корозія сталі головним чином залежить від концентрації кисню у воді.

Розчинність кисню у розчинах NaCl і Na₂SO₄ поступово знижується зі зростанням концентрації солі, але мало залежить від типу солі, особливо за високих рівнів мінералізації.

Було досліджено процеси корозії металів в різних водних середовищах при температурі 15⁰ С (табл. 3). Як видно з таблиці, при підвищенні рівня мінералізації води з 0,41 – 0,435 г/дм³ до 25,059 г/дм³ швидкість корозії сталі Ст3 зросла незначною мірою – з 0,0435 мм/рік для водопровідної води, 0,036 мм/рік для артезіанської води до 0,0528 мм/рік ля модельного розчину з мінералізацією 25 г/дм³. При використанні міді та латуні їх швидкість корозії суттєво зростає: для міді при переході від водопровід-

Таблиця 4

Залежність швидкості корозії сталі Ст. 20 від складу водно-нафтової суміші

№ пп	Склад розчину (суміші)	t ⁰ C	Час (τ) корозії, год	Швидкість корозії	
				г/м ² год	мм/рік
1	NaCl, 30 г/дм ³	25	72	0,05968	0,06624
2	NaCl, 30 г/дм ³	80	4	0,3015	0,3346
3	NaCl, 100 г/дм ³	25	72	0,045505	0,0500
4	NaCl, 100 г/дм ³	80	4	0,1739	0,1931
5	95 см ³ р-ну NaCl, (100 г/дм ³), 5 см ³ нафти, 0,5 г/дм ³ CH ₃ C (O)OH	30	4	0,2783	0,3089
6		60	4	1,6698	1,8534
7		80	4	1,7045	1,8920
8	95 см ³ р-ну NaCl, (100 г/дм ³), 5 см ³ нафти	80	4	0,2971	0,3188
9	80 см ³ р-ну NaCl, (100 г/дм ³), 20 см ³ нафти	80	4	0,2899	0,3218
10		25	72	0,01656	0,01838
11	10 см ³ р-ну NaCl, (100 г/дм ³), 90 см ³ нафти, 0,5 г/дм ³ CH ₃ C (O)OH	25	168	0,2077	0,2305
12		80	4	1,6002	1,7762
13	20 см ³ 3% р-ну NaCl, 80 см ³ , нафти	80	4	0,2899	0,3215
14	20 см ³ 3% р-ну NaCl, 80 см ³ нафти, 0,5 г/дм ³ CH ₃ C (O)OH	80	4	1,5872	1,7657
15	20 см ³ 3% р-ну NaCl, 80 см ³ нафти 3 г/дм ³ CH ₃ C (O)OH	80	4	3,4508	3,8304
16	80 см ³ 3% р-ну NaCl, 20 см ³ нафти	80	4	0,3125	0,3448

ної води до модельного розчину №1 (мінералізація 25 г/дм³) швидкість корозії зросла з 0,0052 мм/рік до 0,036 мм/рік (у 7 разів). Для латуні швидкість корозії зросла з 0,0068 мм/рік до 0,042 мм/рік. Пов'язано це із тим, що в разі сталі оксидна плівка досить рихла і погано захищає метал від корозії. Тому руйнування, або відсутність такої плівки мало впливає на швидкість корозії сталі. Навпаки, оксидна плівка міді та латуні ефективно захищає метал від корозії. При руйнуванні такої плівки в мінералізованому середовищі швидкість корозії металу зростає.

При підвищенні рівня мінералізації води з 25 г/дм³ до 73,5 г/дм³ відмічено підвищення швидкості корозії сталі Ст3 до 0,076 мм/рік та зниження швидкості корозії міді та латуні відповідно до 0,0235 мм/рік та 0,0369 мм/рік. Очевидно, що це пов'язано із прискоренням анодного розчинення сталі при підвищенні мінералізації та сповільненням анодного розчинення міді та латуні при зниженні концентрації кисню у воді за умов підвищення рівня мінералізації води.

Нержавіюча сталь в нейтральному середовищі є стійкою до корозії незалежно від рівня мінералізації води.

Очевидно, що труби та обладнання з латуні та міді недоцільно використовувати для відведення та переробки високо мінералізованих пластових вод, так як швидкість корозії даних металів в мінералізованих водах така ж висока, як і швидкість корозії нелегованої сталі. Остання є значно доступнішою та дешевшою за мідь та латунь.

Крім водних середовищ з різним рівнем мінералізації води було досліджено корозійну активність як мінералізованих вод, так і сумішей мінералізованих вод з нафтою. При цьому визначено швидкість корозії сталі Ст. 20 як у розчинах хлориду натрію з концентрацією солі 30 та 100 г/дм³ так і в сумішах розчинів хлориду натрію та нафти при різних співвідношеннях. При цьому швидкість корозії визначено в діапазоні температур 25–80°С (табл. 4). Як видно з таблиці при підвищенні температури з 25°С до 80°С швидкість корозії сталі Ст. 20 зросла з 0,06624 мм/рік до 0,3346 мм/рік. Температуру 80°С обрали тому, що нафту зазвичай

транспортують в нафтопроводах за даного рівня температур.

При 80°С розчинність кисню у воді незначна, тим більше в сумішах нафти і води. В даному випадку корозія відбувається в основному за рахунок водневої деполяризації.

Процес інтенсифікується в присутності мінеральних солей. Подібну тенденцію спостерігали і при концентрації хлориду натрію на рівні 100 г/дм³. Хоча швидкості корозії сталі Ст. 20 були на рівні 0,0500 мм/рік при 25°С і 0,1931 мм/рік при 80°С. Очевидно, що за даних концентрацій хлориду натрію розчинність кисню в даному діапазоні температур ще нижча, як при концентрації 30 г/дм³.

При використанні суміші нафти і води швидкість корозії сталі Ст20 при 25°С знизилась до 0,01838 мм/рік за рахунок гідрофобізації поверхні сталі. При 80°С швидкість корозії сталі в суміші води з нафтою не перевищувала 0,3218 мм/рік.

Якщо враховувати, що пластові води та сира нафта містять значну кількість карбонових кислот, які суттєво впливають на швидкість корозії, то у своїх дослідженнях використано суміші нафти та мінералізованої води при концентрації оцтової кислоти 0,5 г/дм³. Як видно з таблиці 4 при наявності оцтової кислоти навіть у присутності нафти швидкість корозії нафти сягала 0,2305 мм/рік при 25°С, 0,3089 мм/рік при 30°С, 1,8534 мм/рік при 60°С і 1,8920 мм/рік при 80°С при використанні суміші, що містила 95 см³ водного розчину NaCl (100 г/дм³) та 5 см³ нафти. При збільшенні об'єму нафти до 90 см³ на 10 см³ розчину хлориду натрію швидкість корозії при 80°С сягала 1,7762 мм/рік.

Перспективи використання результатів дослідження. Оцінка корозійної активності мінералізованих водних середовищ нафто-водних середовищ дозволяє оцінити екологічні загрози від руйнування трубопроводів залежно від складу середовища, що транспортується в трубопроводах. Крім того, при врахуванні залежності швидкості корозії металу від складу нафто-водної суміші можна вибирати та оцінювати ефективність інгібіторів корозії металів, що дозволить успішно запобігати даним загрозам при відносно незначних фінансових затратах.

Література

1. Development of new compositions for reducing the corrosive aggressiveness of oil-containing water / M. Shuryberko, M. Gomelya, N. Gluchenko, K. Chuprova, T. Overchenko // Technology audit and production reserves. № 6/3 (44). 2018. P. 25–30.
2. New inhibitors of corrosion and depositions of sediments for water circulation systems / N.D. Gomelya, T.A. Shablii, A.G. Trohymenko, M.M. Shuryberko // Journal of Water Chemistry and Technology. 2017. Vol. 39, Issue 2. P. 92–96.
3. Сучасні методи кондиціонування та очистки води в промисловості. Монографія / Гомеля М.Д., Радовенчик В.М., Шаблій Т.О. // К. : Графіка, 2007. 168 с.
4. 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.
5. Переработка и утилизация нефтесодержащих отходов : монография. 2-е изд. испр. и доп. / Соколов Л.И. М. : Инфра-Инженерия, 2017. 160 с.
6. 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).

7. Corrosion inhibition of N80 steel simulated in an oil field acidification environment / Du J., Guo J., Zhao L., Chen Y., Liu C., Meng X. // *International Journal of Electrochemical Science*. 2018. Vol.13, Issue 6. P. 5810–5823.
8. Mill scale corrosion and prevention in carbon steel heat exchanger / Sharma P., Roy H. // *High temperature materials and processes*. 2015. Vol. 34, issue 6. P. 571–576.
9. Calcium alginate gel capsules loaded with inhibitor for corrosion protection of downhole tube in oilfields / Wang L., Zhang C., Xie H., SUN w., Chen X., Wang X., Yang Z., Liu G. // *Corrosion Science*. 2015. Vol. 90. P. 522–528.
10. Evaluation of ferrous carbonate/iron oxides scaling risk under high temperature in the absence and presence of scale inhibitors / Yang C., Huang J., Guraieb P., Tomson R.C. // *Proceedings – SPE International Symposium on Oilfield Chemistry*. The Woodlands; Unated States; 13 – 15 April 2015. Vol. 2 P. 1080–1092.
11. Corrosion inhibition of heat exchanger tubing materials (titanium) in MSF de salination plants in acid cleaning solution using aromatic nitro compounds / Deyab M.A. // *Desalination*. 2018. Vol. 439. P. 73–79.
12. Улич Г.Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ./ Г.Г. Улич, Р.У. Реви. Л. : Химия, 1989. 456 с.