

Н. М. НИМЕЦЬ, А. П. МЕЛЬНИК, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, О. Д. НИМЕЦЬ

**ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ЙОДУ З СУПУТНЬО-ПЛАСТОВИХ ВОД
НАФТОГАЗОКОНДЕНСАТНИХ РОДОВИЩ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

Вивчено реакції озонування йодид-іонів в мінералізованих водах з бромом, іонами заліза, що дозволило встановити закономірності зміни ступеня утворення йоду від кислотності, мінералізації води, зміни концентрації цих іонів, часу озонування і молярно-іонного відношення реагентів: зі збільшенням часу озонування ступінь освіти йоду спочатку збільшується, досягає максимального значення в даних умовах, а потім зменшується. Аналогічні закономірності спостерігаються при зниженні кислотності середовища, зміні концентрації йодид-іонів і збільшення молярно-іонного відношення. Встановлено, що зі збільшенням контактної поверхні фаз збільшується ступінь утворення йоду, що свідчить про масообмін як граничну стадію процесу озонування. Створено ряд необхідних статистичних математичних моделей, оцінена швидкість реакції озонування. За результатами дослідження отримані результати, які можуть бути використані для створення більш екологічно безпечної технології отримання йоду з попутно-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ

Ключові слова: час, концентрація, йод, озонування, мінералізація, вода.

Н. Н. НЕМЕЦ, А. П. МЕЛЬНИК, Т. В. БРУСЕНЦЕВА, А. Д. НЕМЕЦ

**О ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЙОДА ИЗ ПОПУТНО-ПЛАСТОВИХ ВОД
НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Изучены реакции озонирования йодид-ионов в минерализованных водах с бромом, ионами железа, что позволило установить закономерности изменения степени образования йода от кислотности, минерализации воды, изменения концентрации этих ионов, времени озонирования и молярно-ионного отношения: с увеличением времени озонирования степень образования йода сначала увеличивается, достигает максимального значения в данных условиях, а затем уменьшается. Аналогичные закономерности наблюдаются при снижении кислотности среды, изменении концентрации йодид-ионов и увеличении молярно-ионного отношения. Было установлено, что с увеличением контактной поверхности фаз увеличивается степень образования йода, что свидетельствует о массообмене как предельной стадии процесса озонирования. Создан ряд необходимых статистических математических моделей, оценена скорость реакции озонирования. По результатам исследования получены результаты, которые могут быть использованы для создания более экологически безопасной технологии получения йода из попутно-пластовых вод нефтегазоконденсатных месторождений.

Ключевые слова: время, концентрация, йод, озонирование, минерализация, вода.

N. M. NIEMETS, A. P. MELNYK, T. V. BRUSENCEVA, O. D. NIEMETS

**ON THE TECHNOLOGY FOR PRODUCING IODINE FROM OILFIELD PRODUCED WATER
OF OIL-AND-GAS CONDENSATE FIELDS AND ENVIRONMENTAL SAFETY**

The study of the ozonation reaction of iodide ions in mineralized waters with bromine, iron ions has established patterns of change in the degree of iodine formation from acidity, water mineralization, changes in the concentration of these ions, ozonation time, and molar-ion ratio of the reactants. In the above privacy, with increasing ozonation time, the degree of iodine formation first increases, reaches a maximum value under the given conditions, and then decreases. Similar patterns are observed with a decrease in the acidity of the medium, a change in the concentration of iodide ions, and an increase in the molar-ion ratio. It was found that with an increase in the contact surface of the phases, the degree of formation of iodine increases, which indicates mass transfer as a limiting stage of the ozonation process. Based on the experimentally found changes in the reagent concentration, the ozonation rate was estimated. The results of the study can be used to create a more environmentally friendly technology for the extraction of iodine from oilfield produced water of oil-and-gas condensate fields. A simplified scheme for producing iodine is proposed.

Keywords: time, concentration, iodine, ozonation, mineralization, water

Вступ. Здійснювати скиди супутньо-пластових вод (СПВ) газоконденсатних і нафтових родовищ в ріки та ґрунти не допустимо тому, що тільки по державах СНД їх обсяг досягає 100 км³ в рік, що створює загрозливу ситуацію для навколишнього середовища. В [1], вказано, що супутньо-пластові води, які надходять на поверхню разом з нафтою газом можуть бути джерелом для виробництва йоду, брому та інших речовин. Відомо, що вміст йоду в супутніх водах нафтових і газових родовищ змінюється в межах 10–120 мг/л, з якого 90–95 % складають йодиди [2]. Світове виробництво йоду знаходиться на рівні 30 тис. т/рік, що не покриває необхідні світові потреби. В Україні виробництво йоду відсутнє. Під час розробки вітчизняних газоконденсатних родовищ (ГКР) разом з вуглеводнями видобуваються СПВ, які відносяться

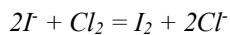
до побічних продуктів технології видобування вуглеводнів і повинні повертатись у надра без надання шкоди навколишньому середовищу та основному виробництву. В Україні такі води повертають в глибокі горизонти [3]. Аналізом складу СПВ вітчизняних ГКР встановлено, що концентрація йодид-іонів, в основному, знаходиться в інтервалі 10–100 мг/л. Низька концентрація розчинів зумовлює необхідність розробки як відповідних технологій вилучення йоду і повернення їх в пласт, так і оперативних методів контролю компонентного складу. За відомими технологіями йод вилучають з концентрованих розчинів з використанням екологічно і корозійно небезпечних хлорноводневої чи сульфатної кислот, хлору чи гіпохлориту натрію, двоокису сірки.

© Німець Н.М., Мельник А.П., Брусенцева Т.В., Німець А.Д., 2019

Таким чином створення більш екологічно безпечних технологій вилучення йоду при його низькій концентрації в розчинах і повернення СПВ у пласт є актуальною проблемою.

Одним із завдань проблеми є розробка технології повернення СПВ у пласт після вилучення йоду без використання шкідливих реагентів і зниження токсичних викидів. Відомо, що йодид-іони можуть перетворюватись в йод при взаємодії з озоном. Технологія вилучення йоду з СПВ ГРП – не розроблена, в зв'язку з відсутністю даних щодо технологічних параметрів процесу.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Відомі технології повернення СПВ у пласт полягають в тому, що після відділення природного газу, газового конденсату чи нафти їх збирають в емності і після оцінки компонентного складу на сумісність з водами пласта колектора, доставляють на пункти для повернення їх в пласт через нагнітальні свердловини, проблемними питаннями є позбавлення механічних домішок та іонів заліза (II), що досягається шляхом відстоювання [3]. Недоліком таких технологій є те, що в них не передбачено використання цінних видобутих з підземних горизонтів речовин, зокрема йоду. Діюча промислова технологія одержання йоду з бурових вод [4] полягає в окисленні йодиду в попередньо підкисленій воді до величини $pH \approx 2$ хлорводневою чи сульфатною кислотою до елементарного йоду (хлором або хлорованою водою). При дії хлору протікає реакція



і у воді з'являється молекулярний йод, який сильним потоком повітря з домішкою туману SO_2 видувається з води в газову фазу. Цю газову суміш подають в скруббер з розчином відновлювача (Na_2SO_3), де йод перетворюється в іон I^- та концентрується до вмісту ≥ 30 г/л. Концентрат повторно окислюють хлором з наступним виділенням йоду фільтрацією. Потім йод очищають від органічних домішок. Необхідно відмітити те, що при нейтралізації підкислених вод сульфатною кислотою випадають трудно розчинні сульфати кальцію, барію, а витрати кислоти в залежності від лужності можуть досягати до 1000 кг на 1 кг йоду. Відомо [4] використання озону як окислювача у слабо кислому середовищі і насиченні бурової води CO_2 . Озон до води з величиною pH 7–8 подають в такій кількості, щоб всі йодид-іони окислились до йодат-іонів. Після чого додають корозійно агресивну сульфатну кислоту та 4–5 таких же об'ємів не окисненої вихідної бурової води. Йодиди реагують з йодатами з утворенням йоду. Недоліки таких технологій полягають в тому, що при їх здійсненні використовують ряд корозійно агресивних речовин. Використання для окислення йодидів пероксиду водню з наступною екстракцією йоду трибутилфосфатом також не знайшло розвитку в зв'язку з застосуванням дорогих реагентів [5].

Відомо [6] вилучення йоду з бурових вод шляхом обробки попередньо підкисленої води повітрям з ініціатором окиснення озоном у присутності солі двовалентного заліза. Концентрація озону в повітрі 0,5–1,1 мг/л.

Мета і задачі дослідження

На даний час відсутні доступні дані щодо впливу технологічних параметрів, як основи створення екологічно безпечних технологій, на ступінь утворення йоду озонуванням СПВ з метою його вилучення і оцінки повернення вод в пласт. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- встановити закономірності впливу часу озонування СПВ, мольно-іонного відношення реагентів на ступінь утворення йоду;
- в'яяснити вплив кислотності (pH) і мінералізації (M) середовища, концентрації іонів йоду (I^-) і заліза (Fe^{2+}), поверхні контакту між фазами;
- оцінити швидкість реакції перетворення йодид-іонів в йод.

1. Використані матеріали, обладнання і методи аналізу.

Для досліджень використано модельні суміші СПВ, до складу яких входять, мг/л: I^- – 10–90, бромід-іонів 800, хлориду натрію 200000, Fe^{2+} – 0–66. Для забезпечення необхідних концентрацій I^- іонів використано KI марки х.ч., бромід-іонів KBr марки х.ч., Fe^{2+} - іонів $FeSO_4$ марки ч., хлорид натрію марки ч. Для одержання озоноповітряної суміші використано озонатор типу GL продуктивністю $6,63 \cdot 10^{-2}$ м³/год з концентрацією озону $6,28 \cdot 10^{-2}$ г-моль/м³. Озонування СПВ здійснено з використанням циліндричного реактору, який обладнано диспергуючим пристроєм. В реактор завантажують 100–400 мл СПВ і через диспергатор подають протягом заданого часу озоноповітряну суміш. В реакційній суміші визначають концентрацію йоду титруванням гіпосульфитом натрію згідно [7]. Ступінь утворення йоду (CU) визначають як відношення поточної концентрації йоду до теоретично можливої концентрації при повному перетворенні йодид-іонів в йод.

2. Результати досліджень впливу технологічних параметрів на озонування СПВ

В зв'язку з тим, що практично на всіх родовищах у природному газі присутній двоокис вуглецю, СПВ також насичені цим компонентом. Тому кислотність води може змінюватись за величиною pH від $\approx 3,5$ до 6,5–7,0. Виходячи з цього, дослідження впливу часу обробки СПВ озоном здійснено (рис. 1) при різних величинах початкової кислотності H_o (C_n , г-іон/л; $KЧ$, мг KOH /л, де C_n – концентрація іонів водню, $KЧ$ – кислотне число): 3,78 ($1,659 \cdot 10^{-4}$; 9,31), 5,86 ($1,38 \cdot 10^{-6}$; 0,077) і 6,26 ($5,495 \cdot 10^{-7}$; 0,03).

Для порівняння наведено результати озонування у відсутності кислотності.

З рис. 1 видно, що збільшення часу обробки зумовлює збільшення ступеня утворення йоду, а його максимум при найнижчій кислотності настає в інтервалі 150–200 с і з часом починає знижуватись. Зменшення кислотності до 5,86 і 6,26 зумовлює зміщення максимуму утворення йоду в інтервал 200–250 с (рис. 1). Необхідно відмітити те, що при збільшенні кислотності після 200 с реакції

відбувається помітне зменшення концентрації йоду і, відповідно, зменшення ступеня утворення йоду. При цьому отримані залежності описуються рівняннями регресії з коефіцієнтом кореляції в межах 0,985–0,992, що може бути використано для прогнозування і корегування процесу озонування.

У слабколужному середовищі спочатку також спостерігається накопичення йоду, як в кислотних середовищах, а через певний час – очевидна тенденція до його зниження.

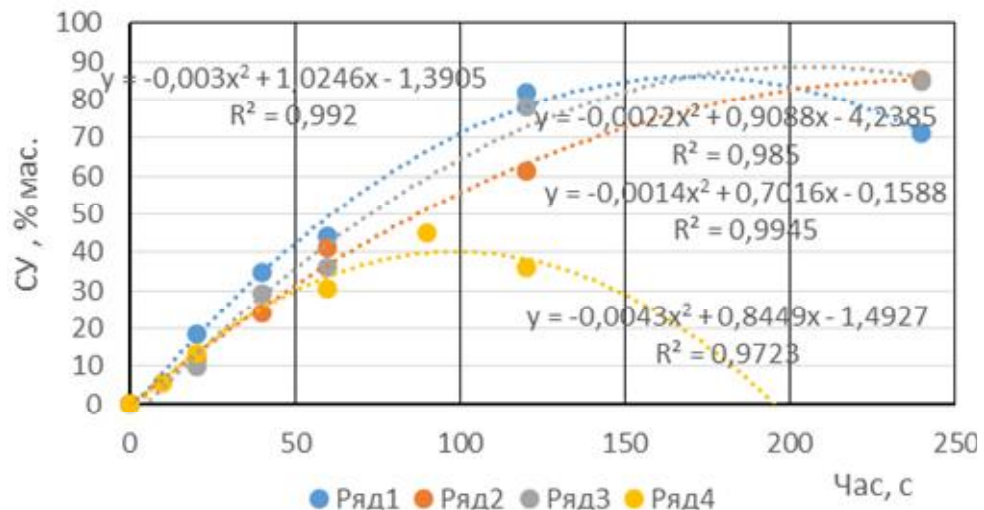


Рис. 1. Залежності ступеня утворення йоду (CY) від часу озонування і кислотності, де:

1 – pH₀=3,78; 2 – pH₀=5,86; 3 – pH₀=6,26; 4 – pH₀=7,3

Вивчення змін ступеня утворення йоду від часу при зміні мінералізації від 10 г/л до 200 г/л (рис. 2) вказує на те, що з часом ступінь утворення йоду зростає, досягаючи при різних мінералізаціях певного максимуму, який спостерігається через ≈ 200–250 с. При цьому найбільший ступінь утворення йоду отримано при більшій з досліджених мінералізацій.

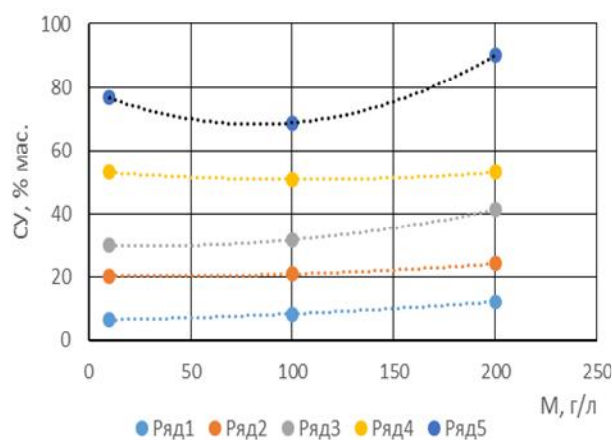


Рис. 2. Зміни ступеня утворення йоду (CY) від мінералізації і часу озонування, с: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60; 4 – 120; 5 – 240.

З співставлення ступеня утворення йоду при зміні мінералізації випливає те, що за один і той же час озонування збільшення мінералізації зумовлює майже лінійні зміни ступеня утворення в інтервалі 20–60 с (рис. 2).

Збільшення часу озонування до 120–240 с зумовлює чітку нелінійну залежність між ступенем утворення йоду і змінами мінералізації (M), яка характеризується мінімумом при мінералізації 100 г/л (рис. 2).

Ознаки такого мінімуму присутні і при меншому часі озонування. При цьому у всіх випадках більший ступінь утворення йоду спостерігається через 240 с озонування.

При змінах концентрації йодид-іонів (рис. 3) залежності CY від часу озонування характеризуються максимумами, які зміщуються при збільшенні концентрації іонів J⁻ в сторону збільшення часу обробки. Тобто збільшення концентрації потребує більшого часу для того, щоб досягнути максимального значення CY.

Аналіз змін CY від мольно-іонного відношення реагентів (рис. 4) свідчить про те, що при концентраціях J⁻-іонів 10–70 мг/л на початку процесу озонування спостерігаються лінійні залежності.

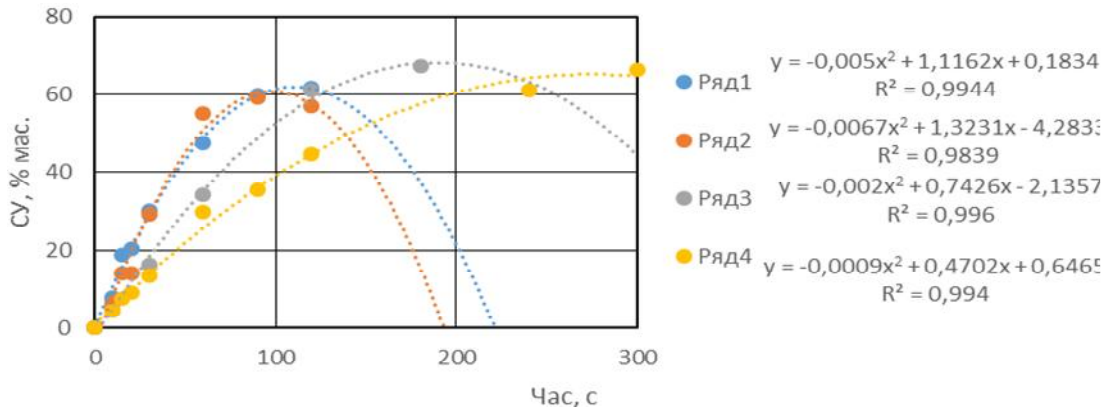


Рис. 3. Зміни ступеня утворення йоду (CY) від часу при зміні концентрації J-, мг/л: 1 – 10; 2 – 30; 3 – 50; 4 – 70

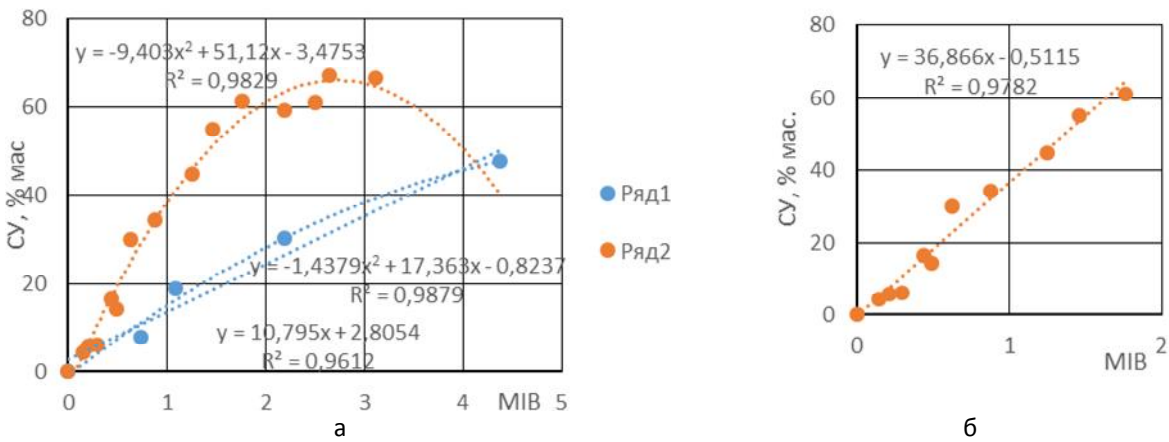


Рис. 4. Зміни ступеня утворення (CY) від мольно-іонного відношення (MIB) при концентрації J- 10 мг/л (1) і 30-50-70 мг/л (2) – (а) та тільки при концентрації 30-50-70 мг/л (б)

При цьому при концентрації йоду 10 мг/л лінійна і нелінійна залежності майже збігаються, тому що коефіцієнти апроксимації дорівнюють 0,9612 і 0,9879, відповідно. Збільшення їх концентрації до 30–70 мг/л зумовлює відхилення від лінійної закономірності. В той же, якщо при концентраціях йодид-іону 30–70 мг/л величину MIB підтримувати до ≈ 2 , то спостерігається лінійна залежність між MIB і CY (рис. 4б).

З врахуванням того, що максимум на залежності (рис. 4а) розпочинається з $MIB > 2$, то таку спрощену залежність можна використовувати для прогнозування ступеня утворення йоду при витратах

озону, які забезпечують $MIB \leq 2$.

Співставлення і аналіз результатів дослідження. На основі досліджень впливу часу озонування і мінералізації на ступінь утворення йоду (рис.2) створено математичну статистичну модель

$$CY = (a_1 - a_2)M^2 - (a_3t - a_4)M + (a_5t + a_6),$$

яка адекватно з середнім відхиленням 3 % абс. описує експериментальні дані (табл.1), де t – час озонування, с; M – мінералізація, г/л; $a_1 - 7E-6$; $a_2 - 0,0002$; $a_3 - 0,0013$; $a_4 - 0,0614$; $a_5 - 0,2869$; $a_6 - 12,726$.

Таблиця 1. Співставлення експериментальних (е) і розрахункових (р) величин ступеня утворення йоду при змінах часу озонування і мінералізації води

Час, с	Ступінь утворення йоду, % мас. при мінералізації, г/л								
	10 г/л			100 г/л			200 г/л		
	e	p	Δ	e	p	Δ	e	p	Δ
20	6,3	17	10,7	8,2	14,3	6,1	12,0	9,0	3,0
40	20,3	21,9	1,6	20,9	25,9	5,0	24,1	25,8	1,4
60	29,8	29,7	0,1	31,7	30,5	1,2	42,1	41,2	0,9
120	68,8	71,3	2,5	50,8	44,1	6,7	53,0	53,8	0,8
240	76,6	79,1	2,5	68,8	71,3	2,5	90,1	90,6	0,5

Примітка: Δ - відхилення визначено як $[e-p]$.

Таблиця 2. Співставлення експериментальних (е) і розрахункових (р) величин ступеня утворення йоду (СУ) при змінах мольно-іонного відношення (МІВ) озон: J і концентраціях іонів J 30, 50, 70 мг/л.

МІВ	Ступінь утворення йоду, % мас., при концентраціях J , мг/л								
	30			50			70		
	е	р	Δ	е	р	Δ	е	р	Δ
0,146				4,4	3,9	0,5			
0,208							5,9	6,7	0,8
0,293	6,3	10,7	4,4						
0,44				16,5	17,3	0,8			
0,486	14,3	19,1	4,8						
0,625							29,9	24,9	5,1
0,88				34,3	34,2	0,1			
1,25							44,8	45,7	0,9
1,459	55,0	51,1	3,9						
1,76				61,2	57,4	3,8			
2,19	59,3	63,4	4,1						
2,5							61,1	65,5	4,4
2,64				67,2	65,9	1,3			
3,12							66,5	64,5	2,0

Примітка: Δ - відхилення визначено як $[e-p]$.

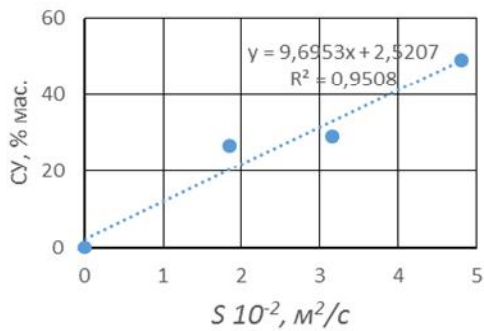


Рис. 5. Залежність ступеня утворення йоду (CY) від поверхні контакту фаз (S)

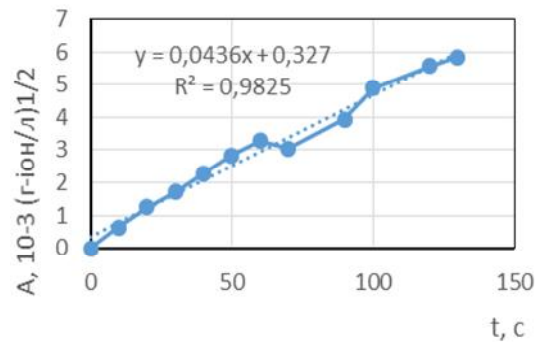


Рис. 6. Залежність $[Jo]^{0.5} - [J]^{0.5}(A)$ від часу озонування (t)

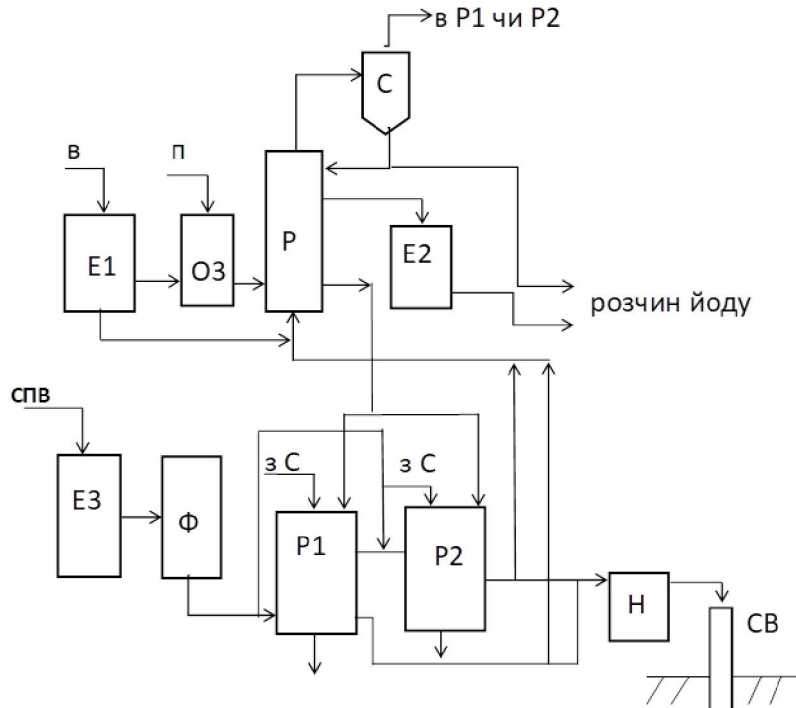


Рис. 7. Спрощена схема одержання йоду і перетворення іонів заліза озонуванням при поверненні супутньо-пластових вод нафтогазоконденсатних родовищ.

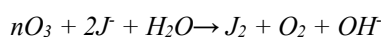
На основі змін ступеня утворення йоду у рідинній фазі від МІВ та концентрації іонів йоду 30–70 мг/л (рис. 4) знайдено рівняння

$$CY = a \cdot \text{MIB}^2 + b \cdot \text{MIB} + c,$$

де $a = -9,403$; $b = 51,1$; $c = -3,473$, розрахунки за яким ступеня утворення йоду узгоджується з експериментальними результатами з відхиленнями в межах 0,1–5,1 % при середній величині 2,6 % (табл. 2).

Оцінка впливу поверхні (S) контакту між фазами (рис. 5) свідчить про те, що із її збільшенням збільшується ступінь утворення йоду, а з врахуванням низької концентрації озону у повітрі – про те, що лімітуючою стадією процесу озонування може бути масоперенесення, зокрема дифузія озону в рідину фазу.

При припущенні, що абсорбований озон повністю реагує з J^- -іоном, швидкість поглинання озону рівна швидкості витрачання J^- -іону, константу швидкості реакції можна оцінити по J^- -іону [8], як це здійснено в [9]. Тоді швидкість (V) реакції:



можна записати як:

$$V = n \cdot (dJ/dt) = [O_3] a (D_{O_3} k J_0)^{0,5},$$

яке після інтегрування набирає вид лінійного рівняння (рис. 6)

$$(J_0^-)^{0,5} - (J^-)^{0,5} = \{ [O_3] a (D_{O_3} k)^{0,5} \} t = Kt,$$

де J_0^- , J^- , відповідно початкова і поточна концентрація J^- іонів, $[O_3]$ – концентрація озону, a – поверхня контакту, D_{O_3} – коефіцієнт дифузії озону, k – константа швидкості реакції другого порядку.

Обробка експериментальних результатів згідно цього виразу свідчить про те, що одержана залежність – лінійна (рис. 6). Це дає підставу говорити про те, що реакція озонування може підпорядковуватись закономірностям реакцій другого порядку. А знайдений коефіцієнт K дозволяє оцінити константу швидкості такої реакції згідно виразу $k^{0,5} = K / ([O_3] a D_{O_3}^{0,5})$.

Знайдену таким методом константу швидкості реакції оцінено величиною $7 \cdot 10^7$ г-моль/м³с. Це підтверджує те, що реакція взаємодії озону з іоном J^- відбувається дуже швидко та узгоджується з даними [9], а сам процес озонування визначається дифузиею озону, оскільки його коефіцієнт дифузії у воді складає 1,74 м²/с, а в повітрі – 0,178 см²/с при коефіцієнті масовіддачі озону у воду $2,8 \cdot 10^{-4}$ м/с [10].

На основі цих і попередньо одержаних результатів [11, 12] запропоновано спрощену схему повернення СПВ у пласт з вилученням йоду (рис. 7:

E1 – ємність вуглеводнів, E2 – ємність для розчину йоду, E3 – ємність СПВ, Н – насоси високого тиску, ОЗ – озонатор, Р – реактор озонування, P1 і P2 – резервуари очищених СПВ, С – сепаратор, СВ – свердловина, в – вуглеводні з установки комплексної підготовки газу, п – повітря).

Отримані результати за проведеними дослідженнями можуть бути використані для навчання студентів Навчально-наукового інституту хімічної технології та інженерії [13–16].

Висновки

1. Дослідженнями встановлено, що у більшості залежності змін ступеня утворення йоду під впливом часу, кислотності, мінералізації, концентрації іонів йоду можна віднести до залежностей з екстремумами.

2. Знайдено математичні статистичні моделі, які адекватно з допустимими відхиленнями описують зміни ступеня утворення йоду від мінералізації, часу озонування, мольно-іонного відношення реагентів.

3. За знайденою величиною константи швидкості реакцію озонування можна віднести до миттєвих реакцій.

4. Одержані результати щодо утворення йоду озонуванням супутніх газовидобуванню мінералізованих вод з йодид-іонами можуть бути використані для створення ефективної більш екологічно безпечної технології в порівнянні з відомими.

Список литературы

1. Воронов А.Н., Тудвачев А.В. Извлечение промышленных компонентов из попутных нефтяных вод. // arkad@av3011.spb.edu, tudvachev@dhsppb.ru. 2014.
2. Басков Е.А., Суриков С.Н. / Гидротермы Земли. –Л.: Недра, 1989. 245 с.
3. Подземное захоронение сточных вод на предприятиях газовой промышленности / Гаев А.Я. – Л.: Недра, 1981. 166 с.
4. Ксензенко В.И., Стасиневич Д.С. // Химия и технология брома, йода и их соединений. М.: Химия, 1995, 300 с.
5. Киеклав М. А. Способ извлечения йода / М.А. Киеклав, П.А. Пономарева, Э.В. Строева // Авт. свид. 1161459, С 01 В 7/14, оп. 15.06.85, БИ 22. yandex.ua/images.
6. Власов Г.А. Способ извлечения йода из буровых вод / Г.А.Власов, Н.Д. Бушина, Г.И.Буравцева, Л.В. Мухаметшина // RU 2186721. С01В7/14. публ.2002. freepatent.ru/patents/2186721.
7. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. / Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1990, с. 262–269.
8. J. Beltran-Heredia, J. Torregrosa // Wat. Res. 2001. V. 35, pp.1077–1085.
9. Pillar E.A., Guzman M.J., Rodriguez J.M. Conversion of iodide to hypoiodous acid and iodine in aqueous microdroplets exposed to ozone // J. environmental sci. and techn. 2013. V.47, pp.10971–10979.
10. Худошин А.Г. Реакции озона с модельными соединениями лигнина в восходящем двухфазном потоке // А.Г. Худошин, А.Н. Митрофанова,

- В.В. Лунин. МГУ им. М.В. Ломоносова / khudoshin.files.mordpress.com>2014/12.
11. Немец Н.Н. О превращении йодид-ионов попутно-пластовых вод газоконденсатных месторождений в йод под воздействием озона. Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження в наукових роботах, Харків, 2016. №16 (1191), с. 14–18.
 12. Німець Н.М., Мельник А.П., Подустов М.О. Екологічна безпека супутньо-пластових вод і одержання йоду. Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». – Х., 2016. Вип.45, с. 159–168.
 13. Німець Н.Н., Брусенцева Т.В., Німець О.Д. Підвищення екологічної безпеки видобування вуглеводнів шляхом вивчення сумісності супутньо-пластових вод при поверненні в надра. Вісник НТУ «ХП». Х.: НТУ «ХП», 2019. №15 (1340), с. 42–50.
 14. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.І., Капустенко П.О. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах: Підручник. – К.: ЦНЛ, 2011. 832 с.
 15. Товажнянский Л.Л., Бухкало С.І., Зіпунніков М.М. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2013. 352 с.
 16. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. 456 с.
 17. Товажнянский Л.Л., Кошелева М.К., Бухкало С.І. Общая химическая технология в примерах, задачах, лабораторных работах и тестах (учебное пособие) / Москва ИНФРА-М, 2015. С. 447.
 - Muhametshina // RU 2186721. C01B7/14. publ.2002.freepatent.ru>patents/2186721.
 7. Reznikov A.A., Mulikovskaja E.P., Sokolov I.Ju. / Metody analiza prirodnyh vod. M.: Nedra, 1990, с. 262–269.
 8. J.Beltran-Heredia, J.Torregrosa // Wat. Res. 2001. V. 35, pp.1077–1085.
 9. Pillar E.A., Guzman M.J., Rodriguez J.M. Conversion of iodide to hypoiodous acid and iodine in aqueous microdroplets exposed to ozone//J. environmental sci. and techn. 2013. V.47, pp.10971–10979.
 10. Hudoshin A.G. Reakcii ozona s model'nymi soedinenijami lignina v voshodjashhemo dvuhfaznom potoke // A.G. Hudoshin, A.N. Mitrofanova, V.V. Lunin. MGU im. M.V. Lomonosova / khudoshin.files.mordpress.com>2014/12.
 11. Nemes N.N. O prevrashhenii jodid-ionov poputno-plastovyh vod gazokondensatnyh mestorozhdenij v jod pod vozdejstviem ozona. Visnik NTU «HPI». Serija: Innovacijni doslidzhenja v naukovih robotah, Harkiv, 2016. №16 (1191), pp. 14–18.
 12. Nimec' N. M., Mel'nik A.P., Podustov M.O. Ekologichna bezpeka suput'no-plastovyh vod i oderzhannja jodu. Visnik HNU im. V.N. Karazina. Serija «Geologija. Geografija. Ekologija». – Harkiv, 2016. Vip.45, с. 159–168.
 13. Nimec' N.N., Brusenceva T.V., Nimec' O.D. Pidvishhennja ekologichnoi bezpeki vidobuvannja vuglevodniv shljahom vivchennja sumisnosti suput'no-plastovyh vod pri povnennni v nadra. Visnik NTU «KhPI». H.: NTU «KhPI», 2019. №15 (1340), pp. 42–50.
 14. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Kapustenko P.O. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah. Pidruchnik. – K.: CNL, 2011. 832 p.
 15. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Zipunnikov M.M. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2013. 352 p.
 16. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoї promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. 456 p.
 17. Tovazhnjanskij L.L., Kosheleva M.K., Bukhhalo S.I. [Obschaya khimicheskaya tehnologija v primerah, Zadachah, Laboratornih rabotah I tekstah (uchebnoe posobie)] General Chemical Engineering in the examples, problems, laboratory work and testing (manual). Moskov INFRA-M, 2015. 447 p.

References (transliterated)

Надійшла (received) 19.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Німець Наталія Миколаївна (Немец Наталья Николаевна, Niemets Natalia Mikolaivna) – начальник відділу, філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна; e-mail: ecolog.2601@gmail.com

Мельник Анатолій Павлович (Мельник Анатолий Павлович, Melnyk Anatoly Pavlovich) – професор, філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна; e-mail: ecolog.2601@gmail.com

Брусенцева Тетяна Володимирівна (Брусенцева Татьяна Владимировна, Brusentseva Tatiana Volodimirivna) – начальник сектору філія Український науково-дослідний інститут природних газів АТ «Укргазвидобування», м. Харків, Україна.

Німець Олександр Дмитрович (Немец Александр Дмитриевич, Niemets Oleksandr Dmitrievich) – студент, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна.