

ГОМЕЛЯ М. Д., д.т.н., проф., ШАБЛІЙ Т. О., д.т.н., проф., ІВАНЕНКО О. І., к.т.н., доц.,
КРИСЕНКО Т. В., к.т.н., доц. Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

ВИЛУЧЕННЯ РОЗЧИНЕНОГО У ВОДІ КИСНЮ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНИХ ІОНІТІВ

Вивчено та оцінено вплив способу модифікування катіонітів сполуками заліза (II) на відновлювальну здатність при вилученні кисню з води. Вперше досліджено процес десорбції заліза з катіоніту, його залежність від способу модифікування іонообмінного матеріалу та складу води. Показано, що на вимивання заліза сильно впливають іони жорсткості.

Ключові слова: редоксит, катіоніт, знекиснення води, корозія.

© Гомеля М. Д., Шаблій Т. О., Іваненко О. І., Крисенко Т. В., 2017.

Постановка проблеми. Вода, в якій не відбувається корозія поверхні металу і не спостерігається випадання осадів солей твердості, називається стабільною водою.

Додавання у воду інгібіторів корозії та стабілізаторів накипоутворення, а також застосування глибокого очищення води іонним обміном та іншими методами є шляхом вирішення проблеми ефективної стабілізаційної обробки води. Слід відмітити, що процеси кисневої корозії суттєво впливають на утворення корозійних відкладень в трубопроводах. Відсутність деаерації живильної води котлів і підживлюючої води тепломереж веде до інтенсивної корозії котлів, трубопроводів і теплообмінників [1]. Суттєві економічні втрати пов'язані з недостатньою деаерацією води та з повною відсутністю деаерації води для підживлення теплових мереж. Киснева корозія призводить до швидкого виходу з ладу центральних трубопроводів. Особливо агресивна очищена на водень-катіонних фільтрах вода при наявності слідів повітря, так як у воді присутня вуглекислота, яка в присутності кисню більш агресивна. Тому одним з найважливіших питань при підготовці води для енергетичних систем є зниження її корозійної активності.

Аналіз попередніх досліджень. Для зниження корозійної активності води шляхом вилучення з неї кисню досить часто використовують фізичні методи [2]. До альтернативних методів з видалення розчиненого кисню з води відносяться методи з використанням полімерних мембран або іонообмінних смол з нанесенням на їх поверхню металічного паладію, який служить каталізатором при відновленні кисню воднем [3–4]. Хімічні методи дегазації води базуються на використанні реагентів, які зв'язують гази, розчинені у воді. Частіш за все в даних методах використовують гідразин, сульфід натрію, сірчистий газ [5]. Використання редокситів (іонообмінних смол, модифікованих сполуками заліза (II) та міді (I)) для знекиснення води є одним з перспективних напрямків стабілізаційної обробки води для потреб промисловості та енергетики [6].

При порівнянні вище описаних методів знекиснення води більш перспективними та досконалими є фізичні методи та методи із застосуванням редокситів. В разі використання хімічних методів із додаванням у воду реагентів відбувається її первинне забруднення високотоксичними речовинами (гідразин) або вторинне забруднення (сульфіти переходять у сульфати). Недоліком методу каталітичного відновлення кисню воднем є висока вартість процесу знекиснення.

Метою роботи була розробка методів вилучення кисню з води за допомогою редокситів на основі іонообмінних матеріалів, оброблених сполуками заліза (II), яке має відновні властивості; визначення його ефективності при знекисненні технічної води.

Об'єкти та методи дослідження. Об'єкти дослідження – редоксити на основі сильнокислотного катіоніту КУ–2–8, макропористих катіонітів Amberlite 252 H, Purolite C 150, а також слабкокислотного катіоніту DOWEX MAC–3, водні середовища, що використовуються в енергетичних системах та системах охолодження. Для дослідження використовували водопровідну, дистильовану, пом'якшену та Na⁺-катіоновану воду.

Повну динамічну обмінну ємність (мг-екв/дм³) іоніту по іонах заліза розраховували за формулою:

$$ПДОС = \frac{\sum(C_{поч} - C_i) \cdot V_n}{V_i} \quad (1)$$

де $C_{поч}$ – початкова концентрація іонів заліза (II) у розчині, мг-екв/дм³; C_i – концентрація іонів заліза (II) в і-й пробі після сорбції, мг-екв/дм³; V_n – об'єм проби, дм³; V_i – об'єм іонообмінного матеріалу, дм³;

Знекиснення води та водних розчинів на модифікованих іонітах проводили наступним чином. Через модифікований іоніт ($V_i = 20 \text{ см}^3$ або 50 см^3), розміщений у колонці, пропускали воду або водні розчини.

Оброблену воду пропускали через колбу Вінклера, аналізуючи на вміст кисню кожен дм³ пропущеної води. Витрату фіксували по рівню води в ємності з водою. Крім того, в окремих випадках визначали вміст заліза у фільтраті та реакцію середовища.

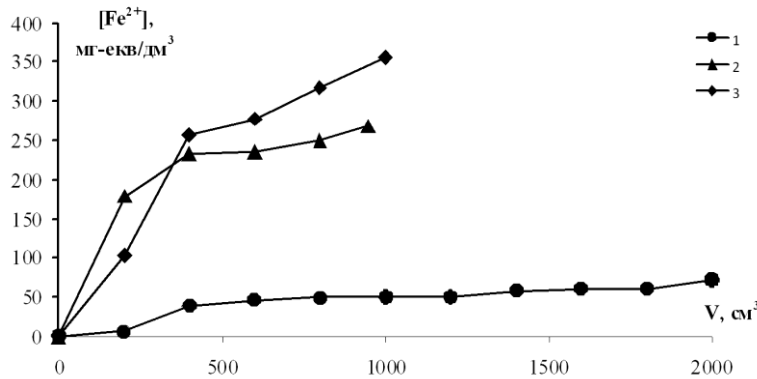
Відновлювальну здатність по кисню (мг-екв/дм³ іоніту) розраховували за формулою:

$$B_{3O_2} = \frac{\sum(C_{\text{поч}O_2} - C_{iO_2}) \cdot V_n}{V_i} \quad (2)$$

де $C_{\text{поч}O_2}$ – початкова концентрація O_2 у воді, мг-екв/дм³; C_{iO_2} – концентрація O_2 в i -й пробі, мг-екв/дм³; V_n – об'єм проби, дм³; V_i – об'єм іоніту, дм³;

Викладення основного матеріалу. Не дивлячись на складність регенерації редокситів, отриманих при модифікуванні катіонітів сполуками заліза, вони є досить ефективними при знекисненні вод із значним вмістом хлоридів, сульфатів, гідрокарбонатів та інших аніонів [7]. В роботі використовували сильноокислотний катіоніт КУ–2–8, макропористі катіоніти Amberlite 252 Н, Purolite С 150, а також слабоокислий катіоніт DOWEX MAC – 3.

Для переведення катіоніту в Fe^{2+} -форму використовували розчин сульфату заліза (II) з концентрацією по залізу 71,4–2250 мг-екв/дм³ (рис. 1).



- 1 – початкова концентрація заліза (II) 71,4 мг-екв/дм³
- 2 – початкова концентрація заліза (II) 321,4 мг-екв/дм³
- 3 – початкова концентрація заліза (II) 357,1 мг-екв/дм³

Рис. 1 – Вихідні криві сорбції заліза (II) на катіоніті DOWEX MAC – 3 ($V_i=20$ см³) у Na^+ -формі із розчинів сульфату заліза різної концентрації (ПДОЄ₁=2250 мг-екв/дм³; ПДОЄ₂=4428,5 мг-екв/дм³; ПДОЄ₃=4815 мг-екв/дм³)

При переведенні іоніту в Fe^{2+} -форму через шар іоніту, об'ємом 20 см³, фільтрували розчин сульфату заліза з витратою 1–5 см³/хв. Іоніт використовували в Na^+ - і H^+ -формі. Іоніт в H^+ -форму переводили 5 %-вим розчином соляної кислоти, в Na^+ -форму – 2 %-вим розчином NaOH. При переведенні іоніту в Ca^{2+} , Mg^{2+} або Fe^{3+} -форму використовували 10 %-і розчини $CaCl_2$, $MgSO_4$, $FeCl_3$.

При обробці іоніту в Fe^{2+} -формі 2 %-м розчином лугу іоніт переходив в Na^+ -форму з утворенням гідроксиду заліза $Fe(OH)_2$, який знаходився в порах іоніту. При сорбції іонів заліза на сильноокислотному катіоніті також використовували розчин сульфату заліза ($C_{Fe^{2+}}=719$ мг-екв/дм³), що містить сірчану кислоту в концентрації 0,5–2,0 %.

Для оцінки відновлювальної здатності (ємність по кисню чи

іншому окиснику, наприклад, $NaClO_2$, мг-екв/дм³) через катіоніт, модифікований сполуками заліза, пропускали водопровідну воду або розчин хлорату натрію в дистильованій воді.

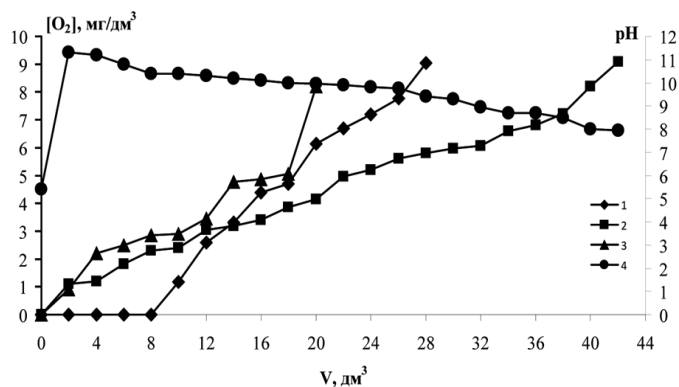
З графіка можна зробити висновок, що на початковій стадії катіоніт у залізній формі краще зв'язує кисень, на відміну від катіоніту, модифікованого $Fe(OH)_2$. При його використанні кисень присутній вже у перших пробах. Іоніт у залізній формі забезпечує повне видалення кисню. Але головним недоліком використання катіоніту в Fe^{2+} -формі є значне вимивання іонів заліза при пропусканні водопровідної води (рис. 3 крива 1).

Подібні досліди проводили і для інших катіонітів. Дані про сорбційну ємність катіонітів по іонах заліза (II) в залежності від форми іоніту та складу розчину приведені в таблиці 1. Як видно з таблиці, сильноокислотні катіоніти краще сорбують іони заліза в кислій формі. В разі їх застосування в Na^+ -формі обмінна ємність по іонах заліза зростає лише при підкисленні розчинів сірчаною кислотою. Слабоокислотний катіоніт сорбує залізо лише в Na^+ -формі, тому що в кислому середовищі втрачає здатність до іонного обміну.

Таблиця 1 – Залежність ємності катіонітів по іонах Fe^{2+} від їх форми та складу розчину

Катіоніт	Форма катіоніту	Склад розчину, мг-екв/дм ³		ОЄ, мг-екв/дм ³
		Fe^{2+}	H_2SO_4	
КУ 2 – 8	H^+	719,42	-	2460
	H^+	1079,14	-	2840
	Na^+	719,42	-	1660
	Na^+	719,42	5,0	2930
	Na^+	719,42	10,0	3287
	Na^+	719,42	15,0	3510
DOWEX MAC – 3	Na^+	71,4	-	2250
	Na^+	321,4	-	4428
	Na^+	357,1	-	4815

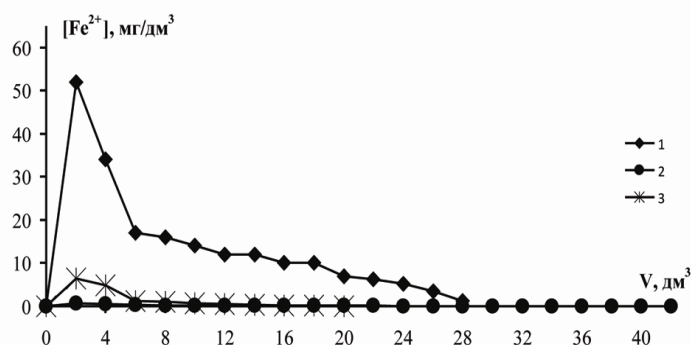
Amberlit 252H	H ⁺	719,42	-	2340
	Na ⁺	719,42	-	2179
Purolit C150	H ⁺	719,42	-	1540
	Na ⁺	719,42	-	1440



1 – [O₂] у водопровідній воді, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Fe²⁺-формі; 2 – [O₂] в дистильованій воді, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Na⁺-формі, модифікований Fe(OH)₂; 3 – [O₂] в пом'якшеній воді, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Na⁺-формі, модифікований Fe(OH)₂;

Рис. 2 – Залежність концентрації кисню та pH середовища у водопровідній, дистильованій та пом'якшеній воді від пропущеного об'єму через катіоніт Dowex mac –

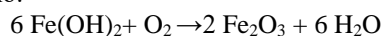
3 (V_i = 20 см³) в різних формах (B31 = 1250 мг-екв/дм³; B32 = 1587мг-екв/дм³; B33 = 951 мг-екв/дм³)



1 – водопровідна вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Fe²⁺-формі; 2 – дистильована вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Na⁺-формі, модифікований Fe(OH)₂; 3 – пом'якшена вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Na⁺-формі, модифікований Fe(OH)₂

Рис. 3 – Вихідні криві десорбції заліза з катіоніту DOWEX MAC – 3 (V_i=20 см³) в різних формах при пропусканні водопровідної, дистильованої та пом'якшеної води

(рН=8,5–9,6). Проте, в даному випадку ємність по кисню менша, ніж при обробці водопровідної води. Обумовлено це тим, що при рН 6,5–8,5 гідроксид заліза (II) при окисленні переходить в гідроксид заліза (III). Тому на окислення 1 мг-екв кисню йде 2 мг-екв заліза (II). При рН>9 проходить утворення фериту. І тоді процес окислення проходить за реакцією:



В цьому випадку на окислення 1 мг-екв кисню витрачається 3 мг-екв заліза (II). Відповідно, відновлювальна здатність редокситу, що містить Fe(OH)₂, вища в нейтральному і слабкокислому середовищі, ніж в лужному. Хоча в лужному середовищі розчинність заліза нижча, і процес відновлення кисню іде швидше, так як відновлювальні властивості заліза підвищуються з підвищенням рН. Крім механізму окислення заліза і його десорбції на ємність редокситу по кисню впливає його ємність по залізу.

При вилученні кисню з водопровідної води на катіоніті DOWEX MAC – 3 у Fe²⁺-формі (рис. 2), відновлювальна здатність становить 1250 мг-екв/дм³ (крива 1). Для іоніту, модифікованого Fe(OH)₂, при використанні дистильованої води відновлювальна здатність досягає 1587 мг-екв/дм³ (крива 2), а для пом'якшеної води – 951 мг-екв/дм³ (крива 3).

Високу відновлювальну здатність іоніту в залізній формі можна пояснити переходом іонів Fe²⁺ у воду і зв'язування його з киснем. При використанні катіоніту, модифікованого Fe(OH)₂, відновлення кисню відбувається на осадженому гідроксиді заліза.

При вилученні кисню з дистильованої води катіонітом DOWEX MAC – 3, модифікованим Fe(OH)₂, десорбція заліза майже не відбувається (рис. 3, крива 2). А відновлювана здатність по кисню становить 1587мг-екв/дм³.

В цілому, при використанні сорбенту в об'ємі 20 см³ ефективність знекиснення води була низькою через малий час контакту води із сорбентом.

Відновлювальна здатність редокситу залежить від кількості сорбованого заліза, форми, об'єму іоніту і характеристик води. Як видно з таблиці 2, відновлювальна здатність росте при переході від катіоніту в Fe²⁺-формі до іоніту, модифікованого Fe(OH)₂.

В цьому випадку при пропусканні водопровідної води з жорсткістю 4,2 мг-екв/дм³ відбувається значне вимивання іонів заліза з іоніту внаслідок їх витискання іонами жорсткості, що призводить до певного зниження ємності іоніту по кисню.

З гідроксиду заліза іони заліза внаслідок його малої розчинності вимиваються менше, хоча їх концентрація у воді досягає 2–8 мг/дм³. При пропусканні Na⁺-катіонованої води через іоніт, модифікований Fe(OH)₂, залізо практично не вимивається внаслідок більш високих значень рН

Таблиця 2 – Залежність відновлюваної здатності редокситів на основі КУ–2–8 від форми іоніту та його ємності по іонах Fe²⁺ при обробці водопровідної води (I) та Na-катіонованої води (II)

ОЄ/ВЗ, мг-екв/дм ³			
Fe ²⁺ -форма		Na ⁺ -форма, модифікований Fe(OH) ₂	
I	II	I	II
2700/1082	2850/1152	2870/1352	2900/1205

Цікаво відмітити, що при використанні іоніту з гідролізованим залізом іони заліза не вимиваються лише у випадку пропускання дистильованої води. При пропусканні пом'якшеної води із жорсткістю 2,3 ммоль-екв/дм³ (рис.3, крива 3), в окремих пробах концентрація загального заліза досягає 5 мг/дм³, що пов'язано, очевидно, із вимиванням його з маси гідроксиду. При цьому відновлювальна здатність по кисню незначна – 951 мг-екв/дм³, що, головним чином, пов'язано із малим об'ємом редокситу.

Значне підвищення рН дистильованої води (рис. 2, крива 4) пов'язано з гідролізом слабкокислотного катіоніту у Na⁺-формі. При цьому гідроксид заліза був малорозчинним, і його відновлювальна здатність зростала.

Крім інших проблем, що виникають при застосуванні редокситів, модифікованих залізом, важливою є проблема вторинного забруднення води залізом за рахунок його вимивання з катіоніту. Тому були проведені дослідження по визначенню ступеню десорбції заліза з катіоніту в залежності від форми модифікованого сорбенту і складу води.

Для дослідження процесу десорбції використовували 20 см³ катіоніту DOWEX MAC-3 в Fe²⁺-формі та 20 см³ іоніту, модифікованого Fe(OH)₂. Дослідження проводили при пропусканні дистильованої, водопровідної та Na⁺-катіонованої води, кожного разу готуючи новий редоксит.

Катіоніт в залізній формі без гідролізу та модифікований Fe(OH)₂, отримували тим самим шляхом, що і для дослідження процесу знекиснення.

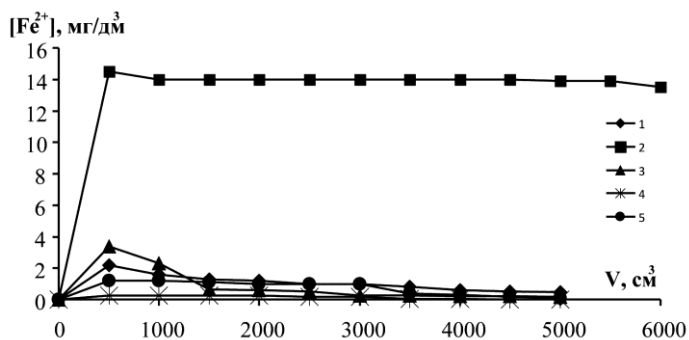
У першому досліді через катіоніт в залізній формі пропускали дистильовану воду, у другому – водопровідну воду, у третьому – Na⁺-катіоновану воду. Через катіоніт модифікований Fe(OH)₂ пропускали водопровідну та Na⁺-катіоновану воду. У пробах, об'ємом 500 см³, контролювали концентрацію заліза та рН. Криві вимивання заліза та зміни реакції середовища наведено на рисунках 4 та 5.

Як видно з рисунку 4, найбільше вимивання заліза відбувається при пропусканні водопровідної води через катіоніт у залізній формі (крива 2). Концентрація у пробах коливається від 14 до 14,5 мг/дм³. Це можна пояснити тим, що іони жорсткості, які наявні у водопровідній воді, витісняють залізо з поверхні катіоніту. При пропусканні дистильованої та Na⁺-катіонованої води через катіоніт у Fe²⁺-формі (крива 1; 3), вимивання заліза значно менше. Концентрації у пробах коливаються від 0,2 до 3,4 мг/дм³. При використанні катіоніту, модифікованого Fe(OH)₂, при пропусканні водопровідної (крива 4) та Na⁺-катіонованої (крива 5) води концентрація заліза у пробах незначна (0–1 мг/дм³). Тому для уникнення вторинного забруднення води залізом краще використовувати редоксит у гідролізованій формі. При цьому вода не потребує додаткової обробки, так як іони жорсткості не впливають на процес десорбції заліза з катіоніту.

Спираючись на результати, представлені на рисунку 5, можна сказати, що значна зміна рН відбулася у водопровідній (крива 4) та Na⁺-катіонованій воді (крива 5) при пропусканні через катіоніт, модифікований Fe(OH)₂. При початковій рН водопровідної води 7,9 та Na⁺-катіонованої води 7,19 у перших пробах збільшення відбулося до 10,3 одиниць. В ході дослідження рН зменшилося до 9,7–9,9 одиниць. Це можна пояснити вимиванням OH⁻-іонів з поверхні редокситу на початковій стадії процесу та утворенням гідрокарбонату натрію при сорбції іонів жорсткості на катіоніті. Для іоніту в залізній формі рН коливається в межах 6–7 одиниць (крива 1; 2; 3).

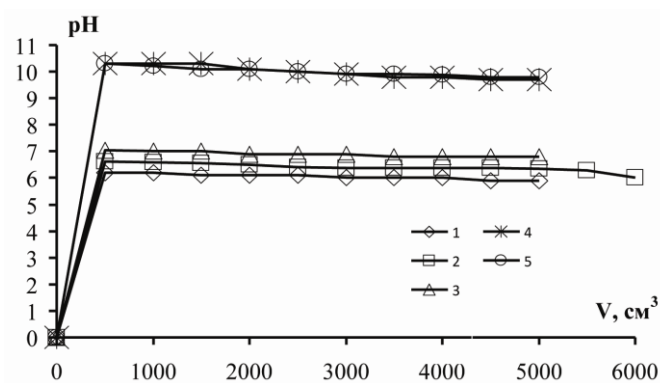
Значним недоліком при застосуванні редокситів, модифікованих залізом, є складність їх регенерації після втрати відновлювальної здатності та обмеженість кількості циклів сорбції/регенерації. Це пов'язано з переходом молекул гідроксиду заліза (II) при їх гідролізі з поверхні гідроксиду заліза в пори сорбенту. При цьому в процесі накопичення Fe(OH)₂, який із слабкорозчинного гідроксиду заліза (II) при окисленні переходить у нерозчинну Fe(OH)₃ форму або магнетит (Fe₃O₄) відбувається зашлаковування пор сорбенту. Тому після кількох циклів регенерації іоніту суттєво змінюється його ємність по іонах заліза і, відповідно, відновлювальна здатність.

Із приведених на рисунку 6 результатів видно, що при трьох циклах сорбції іонів заліза та двох циклах його гідролізу ємність іоніту по іонам Fe^{2+} впала з 3538 мг-екв/дм³ до 820 мг-екв/дм³, що говорить про суттєву втрату відновлювальної здатності іоніту та обмеженість фільтроциклів при його застосуванні [8].



1 – дистильована вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Fe^{2+} -формі; 2 – водопровідна вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Fe^{2+} -формі; 3 – Na^+ -катіонована вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Fe^{2+} -формі; 4 – водопровідна вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Na^+ -формі, модифікований $Fe(OH)_2$; 5 – Na^+ -катіонована вода, DOWEX MAC – 3 в Na^+ -формі, модифікований $Fe(OH)_2$

Рис. 4 – Вихідні криві десорбції заліза з катіоніту DOWEX MAC-3 в різних формах при фільтруванні вод різного складу



1 – дистильована вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Fe^{2+} -формі; 2 – водопровідна вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Fe^{2+} -формі; 3 – Na^+ -катіонована вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Fe^{2+} -формі; 4 – водопровідна вода, катіоніт DOWEX MAC – 3 в Na^+ -формі, модифікований $Fe(OH)_2$; 5 – Na^+ -катіонована вода, DOWEX MAC – 3 в Na^+ -формі, модифікований $Fe(OH)_2$

Рис. 5 – Зміна pH в залежності від форми з катіоніту DOWEX MAC-3 та складу води

катіонітів характеризується більш високою ємністю на всіх фільтроциклах, а слабкокислотний катіоніт DOWEX MAC-3 характеризувався найбільш високою ємністю при сорбції заліза на 1-му і 2-му фільтроциклах. На 3-му фільтроциклі його ємність значно упала, однак при кавітаційній обробці на 4-му фільтроциклі вона зросла майже в 2,5 рази.

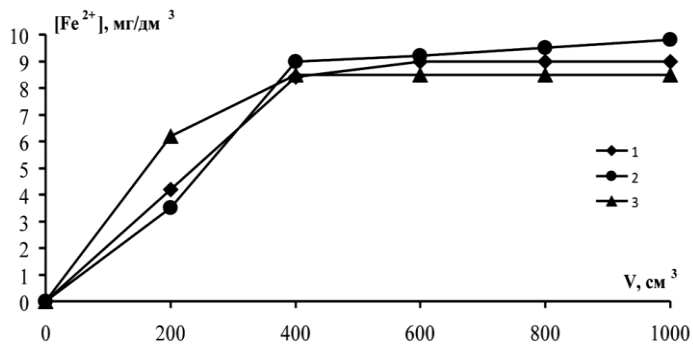
Висновки. Досліджено вплив способу модифікації катіоніту DOWEX MAC-3 сполуками заліза (II) на їх відновлювальну здатність при знекисненні. Катіоніт у залізній формі при використанні в малих об'ємах краще зв'язує кисень, на відміну від катіоніту, модифікованого $Fe(OH)_2$, але при його використанні відбувається вторинне забруднення води іонами заліза.

В цілому, якщо враховувати, що при модифікації катіоніту використовувати концентровані розчини сульфату заліза (II), лужні розчини, які складно утилізувати, застосування даних сорбентів можливе лише при доочищенні води від кисню за невеликих його концентрацій, що значно підвищує термін використання іоніту.

В цілому, при використанні редокситів на основі катіонітів, модифікованих $Fe(OH)_2$, головною проблемою є регенерація редокситів. Використання іоніту в Fe^{2+} -формі неможливо через забруднення води залізом. Відновити $Fe(OH)_2$ складно. Простими реагентами такими, як бісульфіт та сульфід натрію, в слабкокислотному середовищі залізо майже не відновлюється. Використання більш дорогих реагентів недоцільне. Тому кращим рішенням є повторна сорбція заліза на катіоніті з послідовним його гідролізом. Оскільки в порах накопичуються гідроксиди і оксиди заліза, що призводить до блокування гелевих ділянок, повторення циклів регенерацій не може бути великим.

Дані по ємності іонітів в залежності від числа фільтроциклів наведені на рисунку 7. Окрім найбільш доступного на Україні катіоніту КУ-2-8 були використанні крупнопористі катіоніти Amberlite 252H, Purolite C150 та слабкокислотний катіоніт Dowex mac-3.

Передбачалось, що при використанні крупно пористих катіонітів накопичення гідроксидів і оксидів заліза в порах буде менше блокувати гелеві ділянки іоніту і буде менше залежати від числа фільтроциклів. Однак, практично в усіх випадках відмічено зниження відновлювальної здатності катіонітів з числом фільтроциклів. При цьому катіоніт КУ-2-8 в ряду сильнокислотних



1 – катіоніт без попередньої обробки (0 – й цикл), $C(Fe^{2+}) = 9,9 \text{ г/дм}^3$; 2 – катіоніт після сорбції заліза та гідролізу (1 – й цикл), $C(Fe^{2+}) = 10 \text{ г/дм}^3$; 3 – після повторної сорбції заліза та гідролізу (2 – й цикл) $C(Fe^{2+}) = 8,5 \text{ г/дм}^3$

Рис. 6 – Вихідні криві сорбції заліза (II) на катіоніті DOWEX MAC-3 в Na^+ -формі ($V_i=20 \text{ см}^3$) в залежності від циклу (ПДОС₁=3538 мг-екв/дм³; ПДОС₂=3201 мг-екв/дм³; ПДОС₃=820 мг-екв/дм³)

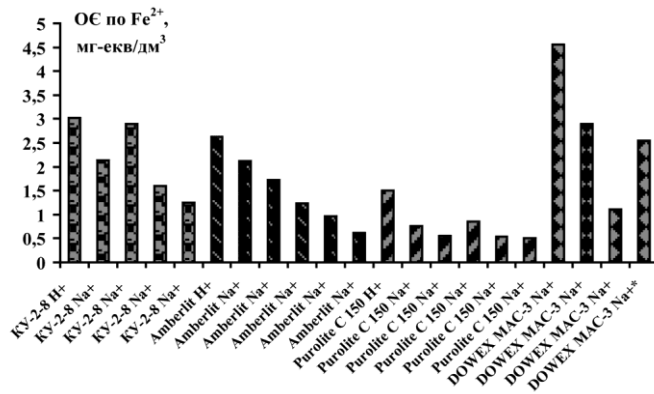


Рис. 7 – Вплив кількості фільтроциклів на сорбцію заліза із 10 %-го розчину $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (*після кавітаційної обробки)

Показано, що катіоніт КУ-2-8, модифікований Fe^{2+} та сполукою $Fe(OH)_2$, ефективно вилучає кисень з води, забезпечуючи відновлювальну здатність щодо O_2 на рівні 1100–1300 мг-екв/дм³.

Вивчено вплив складу води та способу модифікування катіоніту на десорбцію заліза. Найбільше вимивання заліза спостерігається при пропусканні водопровідної води через катіоніт у залізній формі. При пропусканні дистильованої та Na^+ -катіонованої води залізо вимивається значно менше. При використанні катіоніту в Na^+ -формі, модифікований $Fe(OH)_2$, концентрація іону у пробах незначна. Тому для уникнення вторинного забруднення води краще використовувати редоксит у гідролозованій формі.

Визначено число фільтроциклів катіонітів, модифікованих сполуками заліза, при яких зберігається відновлювальна здатність редокситів.

Список використаної літератури

- Bernstein Hans-Friedrich. Water degassing in the networks of hot water supply // Entgasur und Wasserbehandlung in Fernwärmesystemen. Euroheat and power. – 2008. – 37, № 6. – P.50–55.
- Михайлов И. Д. Дегазация воды в системах тепло- и водоснабжения / И. Д. Михайлов – Аква-Мад. – 2008. – № 5. – С. 18–19.
- Лебедева В. И. Pd-пористі поліпропіленові мембрани для каталітичних процесів видалення розчиненого кисню з води / В. И. Лебедева, В. М. Грязнов, И. В. Петрова та інші // Кінетика і каталіз. – 2006. – 47. № 6. – С. 894–899.
- Батдалова С. Г. Исследование процесса удаления растворенного кислорода из воды в каталитическом мембранном контакторе/реакторе / С. Г. Батдалова, И. В. Петрова, В. И. Лебедева // Научная сессия МИФИ – 2007, Москва, 2007. Сборник научных трудов. – 2007. – № 9. – С. 33–34.
- Фрог Б. Н. Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – М. : МГУ. – 1996. – 680 с.
- Кравченко Т. А. Обескислороживание воды редокситами / Т. А. Кравченко, А. Я. Шаталов // Ионнообменные методы очистки веществ. Под ред. Г. А. Ликина и Н. Мягкого. – Воронеж: ВГУ. – 1984. – С. 167–183.
- Кравченко Т. А. Кинетика и динамика процессов в редокситах / Т. А. Кравченко, Н. И. Николаев. – М. : Химия, 1982.
- Гомеля М. Д. Оцінка відновлюваної здатності аніоніту АВ-17-8 в сульфатній формі / М. Д. Гомеля, А. Т. Тамазашвілі // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/6 (57). – С. 27–31
Надійшла до редакції 20.06.2016