

11. Мищенко, И. Т. Скважинная добыча нефти. Издание второе, исправленное [Текст] / И. Т. Мищенко. – М.: РГУ им. Губкина, 2007. – 530 с.
12. Гороновский, И. Т. Краткий справочник по химии. Пятое издание, исправленное и дополненное [Текст] / И. Т. Гороновский, Ю. П. Назаренко, Е. Ф. Некряч. – К.: Наукова Думка, 1987. – С. 600–603.
13. Миньер, Б. Фазы льда [Текст] / Б. Миньер. – Москва-С-Петербург, Эксмо-Домино, 2012. – С. 230–234.
14. Куклин, А. И. Установка высокого гидростатического давления на малоугловом спектрометре ЮМО [Текст] / А. И. Куклин, П. К. Утробин, О. И. Иваньков. – Дубна, Объединенный институт ядерных условий, 2009. – С. 512–517.
15. Chaplin, M. Water Phase Diagram. Water Structure and Science [Text] / M. Chaplin. – Wales, England, 2009. – P. 344–346.
16. Murray, B. J. The formation of cubic ice under conditions relevant to Earth's atmosphere [Text] / B. J. Murray, D. A. Knopf, A. K. Bertram // Nature. – 2005. – Vol. 434, Issue 7030. – P. 202–205. doi: 10.1038/nature03403
17. Falenty, A. Formation and properties of ice XVI obtained by emptying a type sII clathrate hydrate [Text] / A. Falenty, T. C. Hansen, W. F. Kuhs // Nature. – 2014. – Vol. 516, Issue 7530. – P. 231–233. doi: 10.1038/nature14014

В роботі вивчено процеси вилучення кисню з водопровідної води, дистильованої та суміші водопровідної і дистильованої у співвідношенні 1:1 з допомогою редокситів на основі модифікованого сполуками заліза (II) катіоніту Dowex mac-3. Визначено вплив форми іоніту на вторинне забруднення води іонами заліза. Показано, що ефективність знекиснення залежить від жорсткості води та виду іоніту

Ключові слова: кисень, катіоніт, редоксит, сорбція, залізо, ємність, іонний обмін, жорсткість, водопровідна, дистильована вода

В работе изучены процессы извлечения кислорода из водопроводной воды, дистиллированной, а также смеси водопроводной и дистиллированной в соотношении 1:1 с помощью редокситов на основе модифицированного соединениями железа (II) катионитом Dowex mac-3. Определено влияние формы ионита на восстановительную способность ионита и вторичное загрязнение воды ионами железа. Показано, что эффективность изъятия кислорода зависит от твердости воды и вида ионита

Ключевые слова: кислород, катионит, сорбция, железо, емкость, ионный обмен, твердость, водопроводная, дистиллированная вода

УДК 608.2

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50615

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕДОКСИТІВ, ОТРИМАНИХ НА ОСНОВІ СЛАБОКИСЛОГО КАТІОНІТУ DOWEX MAC-3 СПОЛУКАМИ ЗАЛІЗА

М. Д. Гомеля

Доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри*

E-mail: eco-paper@kpi.ua

Т. А. Корда

Асистент*

E-mail: nezvyskaya@mail.ru

Ю. В. Носачова

Старший викладач*

E-mail: j.nosachova@mail.ru

Т. В. Потильчак*

E-mail: tatyana.potylchak@gmail.com

*Кафедра екології та технології рослинних полімерів
Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

1. Вступ

Особливе місце в житті людини займає прісна вода. Із всіх видів природних ресурсів вона використовується в самій великій кількості. Загальна кількість води, що споживає світове господарство, вже досягло приблизно 6 тис. км³ на рік.

В наш час головним напрямком прогресу суспільства є його сталій розвиток. Проблеми ресурсозбереження, енергозбереження, захисту гідросфери від шкідливих впливів виходять на перше місце через загрозу швидкого вичерпання природних ресурсів,

значних негативних змін в біосфері внаслідок неконтрольованого техногенезу. Ефективне використання енергії часто пов'язане із використанням водяної пари та гарячої води у виробництві, що покращує його ефективність. Ці процеси головним чином залежить від якості енергетичної води [1]. До неї ставлять жорсткі вимоги ефективності пом'якшення та знесолення, головною проблемою є зниження її корозійної агресивності. Корозія та руйнування елементів теплообмінних апаратів, трубопроводів призводить до значних витрат енергії, матеріалів та знесолоної води. Якість води сильно впливає на роботу теплообмінних

водо-циркуляційних систем. Наслідок корозії мідного та латунного обладнання відбувається його зношування, що викликає необхідність його заміни. Це тягне за собою економічні затрати. Також відбувається забруднення води міддю та цинком. Застосування інгібіторів корозії через жорсткі вимоги до якості води, токсичності інгібіторів, їх термостійкості та хімічної стійкості при високих температурах досить обмежене. Кращим варіантом зниження корозійної агресивності води є вилучення з неї кисню. Для вилучення розчиненого у воді кисню широко використовується редоксити – модифіковані відновниками іоніти. Проте при отриманні та використанні редокситів виникають проблеми, пов'язані із процесами модифікування іонітів, оцінкою їх якості, відновлювальної здатності, надійності та тривалістю використання.

2 Аналіз літературних даних та постановка проблем

Для зменшення корозійних процесів використовують інгібітори корозії. Але їх застосування обмежене через жорсткі вимоги до якості води, токсичності інгібіторів, їх термостійкості та хімічної стійкості при високих температурах [2]. Кращим варіантом зниження корозійної агресивності води є вилучення з неї кисню. Ряд експериментів з видалення розчиненого кисню з води проводилися з використанням полімерних мембран або іонообмінних смол з нанесенням на їх поверхню металічного паладію, який служить катализатором при відновленні кисню воднем [3]. Також для вилучення розчиненого у воді кисню широко використовуються редоксити – модифіковані відновниками іоніти [4]. Проте при отриманні та використанні редокситів виникають проблеми, пов'язані із процесами модифікування іонітів, оцінкою їх якості, відновлюваної здатності, надійності та тривалого використання.

Унікальність редокситів проявляється в широкій варіації окисно-відновного потенціалу за рахунок полімерного носія і іоногенних груп, високої редокс-ємності, що забезпечується значною кількістю функціональних груп, розвиненою внутрішньою реакційною поверхнею пор і фіксацією редокс-груп полімерним ланцюгом [5–8]. Ці властивості дозволяють організувати окиснення і відновлення речовин найбільш розумним способом, варіюючи величину редокс-потенціалу введенням різних замісників у полімерний ланцюг. Чим можна змінити повноту редокс-перетворення [9]. Збільшуючи кількість редокс-центрів у полімері, можна підвищити концентрацію твердого реагенту і, отже, його поглинаючу здатність. Збільшуючи внутрішній обсяг пор, можна підвищити вміст розчину в них і тим самим полегшити транспорт реагенту, тобто підвищити швидкість окисно-відновного процесу в цілому.

В роботах [10, 11] наведено способи отримання редокситів на основі іонообмінних матеріалів з нанесенням на їх поверхню металів зі змінною валентністю. Показано перспективність використання редокситів в якості завантаження для вилучення розчинених у воді кисню, інших окисників. Автори [12] стверджують, що за допомогою редокситів можливе успішне проведення найрізноманітніших окисно-відновних реакцій для

одержання, очищення і видалення хімічних речовин. Показана доцільність їх застосування для синтезу неорганічних і органічних сполук, в електрохімії й аналітичній хімії.

Головна перевага твердих редокситів перед розчинними редокс-агентами полягає в тому, що в ході реакції редоксити не змінюють свого стану гелю і не вносять у розчин небажані продукти. Більше того, на що особливо необхідно звернути увагу, під дією редокситу речовина в розчині окислюється або відновлюється, а сполучений з ним відновник або окисник і продукт його перетворення, звичайно, не переходять у розчин і, отже, не викликають небажаних змін у хімічному складі розчину. Нарешті, важливий аспект – багаторазовість використання редокситу. Ці матеріали можуть бути регенеровані, тобто їх можна перевести у відновлену або окисну форму. Проводять таку операцію хімічно або електрохімічно. У першому випадку впливають на редоксит сильним окисником або відновником, у другому – електричним струмом катодного або анодного напрямку [13].

Здатність редокситів до реакцій окиснення і відновлення відкриває широкі перспективи їх використання в різних галузях промисловості для проведення окисно-відновних процесів, і в першу чергу знекиснення водних і неводних розчинів, інертних газів. Немає необхідності вказувати на великі втрати, що виникають у результаті кисневої корозії [14], і доводити важливість одержання знекисненої води для енергетичних систем. Але традиційні хімічні, електрохімічні і фізичні методи знекиснення води далеко недосконалі через неповне видалення розчиненого кисню, або при внесенні домішок. Редоксити ж у відновленій формі при їхній взаємодії з водою, що містить молекулярний кисень, здатні видаляти його до будь-якої заданої глибини очистки. Наприклад, воду з вихідним вмістом розчиненого кисню 7–9 мг/дм³, рівноважним повітряній атмосфері, неважко довести до норми, що відповідає вимогам до води, використовуваної в електронній, атомній і інших важливих галузях промисловості (0,005 мг/дм³). Технічно процес зводиться до простого фільтрування води через колонку. Заповнений зернистим редокситом у відновленій формі. Щоб досягти необхідної глибини очищення від кисню, достатньо підібрати матеріал редокситу, зернистість, висоту колонки, швидкість пропускання води. Пропускання при цьому електричного струму через колонку дає можливість вести одночасно й безупинно обидва процеси: видалення кисню і електрохімічну регенерацію редокситу [15, 16].

3. Ціль та задачі дослідження

Метою даної роботи була розробка в лабораторних умовах методів вилучення кисню з води, за допомогою редокситів на основі іонообмінних матеріалів, оброблених сполуками заліза (II).

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- створення модифікованих матеріалів для ефективного вилучення розчиненого у воді кисню;
- визначення ефективності роботи створених матеріалів.

4. Матеріали та методи дослідження редокситів

4. 1. Досліджувальні матеріали та обладнання, що використовувалися в експерименті

Модифіковані іоніти отримували шляхом обробки визначеного об'єму катіоніту, який розміщували в колонці, модифікуючими реагентами в заданій послідовності. При цьому підбиралися оптимальні умови модифікації.

Як модифікатори використовували сіль, що містить хімічний елемент змінної валентності – сірчанокиисле залізо ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Для заліза характерне перебування у двох формах, з ступенем окислення +2 та +3. Осадження на поверхні іоніту Dowex mac – 3 іонів заліза. першому досліді катіоніт Dowex mac – 3 у H^+ обробляли 4 % розчином NaOH , для переведення у Na^+ форму, промили невеликою кількістю дистильованої води, до нейтрального середовища. Після чого пропустили 5 % розчин $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Швидкість пропускання розчину 2–3 $\text{cm}^3/\text{хв.}$, об'єм іоніту – 20 cm^3 .

4. 2. Методика визначення відновлювальної здатності редокситу

Масу сорбованого заліза визначали по різниці початкової та вихідної концентрації заліза з урахуванням об'єму проби. Загальну масу сорбованого заліза визначали як суму сорбованого заліза з всіх відібраних проб розчину сульфату заліза. Обмінну ємність по залізу (OE Fe) розраховували поділом маси сорбованого заліза на об'єм іоніту [17].

При визначенні відновлювальної здатності (ємності по кисню) редокситу через нього в першому випадку пропускали водопровідну воду; в другому випадку була суміш водопровідної та дистильованої води 1:1; в третьому випадку дистильована вода. В першому випадку швидкість пропускання 16–17 $\text{cm}^3/\text{хв.}$ Контролюючи концентрацію кисню, заліза, жорсткості та рН води на вході та на виході з колонки. Об'єм проб 1–29 dm^3 . Кількість відновлювального (зв'язаного) кисню розраховували для кожної проби, виходячи із різниці концентрацій кисню на вході та на виході із колонки та об'єму проби. Загальну масу зв'язаного кисню визначали як суму сорбованого кисню із усіх відібраних проб води. Ємність по кисню (EO_2) визначали діленням кількості зв'язаного кисню на об'єм іоніту. Відновлювальну здатність (ВЗ) по хлорату натрію визначали як відношення кількості відновлювального хлорату в $\text{mg-екв}/\text{dm}^3$ до об'єму обробленого редокситу. Кількість відновлювального хлорату визначали із різниці вхідних та вихідних концентрацій і об'єму розчину. У другому досліді після обробки катіоніту 4 % розчином NaOH та 10 % розчином $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ осаджене залізо гідролізували 4 % розчином NaOH . Як модельний розчин для 15 dm^3 використовували суміш водопровідної та дистильованої води, у співвідношенні 1:1, після чого катіоніт знову промили 4 % NaOH і пропустили ще 6 dm^3 водопровідної води. Разом було пропущено 21 dm^3 . У третьому досліді пропустили дистильовану воду об'ємом 43 dm^3 .

5. Результати досліджень по знекисненню води модифікованими іонітами

Агресивність води – здатність води, зокрема окремих з розчинених у ній речовин, руйнувати різні матеріали шляхом хімічного впливу. Корозійна агресивність води залежить від багатьох факторів, в тому числі від рН середовища, вмісту солей (аніонів хлоридів та сульфатів), іонів жорсткості та ін. Вміст розчинних солей (лужних металів, магнію) у водоциркуляційній системі зростає пропорційно коефіцієнту її випаровування. При цьому збільшується корозійна агресивність води.

На рис. 1 представлено результати по знекисненню води модифікованими іонітами. Виходячи з рисунку можна зробити висновок, що крива 1 – іоніт у Fe^{2+} формі досить ефективно відновлює кисень на початковій стадії, EO_2 по кисню до проскоку складала 536 $\text{mg-екв}/\text{dm}^3$, а повна обмінна ємність досягла 1251 $\text{mg-екв}/\text{dm}^3$.

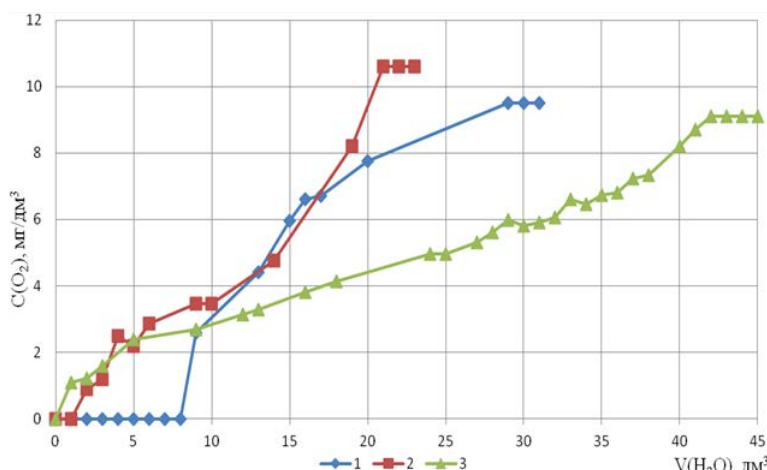
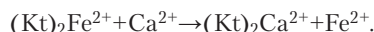


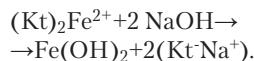
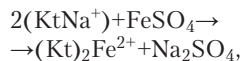
Рис. 1. Вихідні криві сорбції кисню з модельного розчину на катіоніті DOWEX mac-3 у залізній формі: 1 – водопровідна вода ($\text{C Fe}^{2+}_{\text{в.в.}}=0,15\text{mg}/\text{dm}^3$; $\text{C}_{\text{в.в.}}=10,7\text{mg}/\text{dm}^3$; $\text{pH}=8$; $\text{T}=4,5\text{mg-екв}/\text{dm}^3$), катіоніт у Fe^{2+} формі, $\text{C Fe}^{2+}=1251\text{mg-екв}/\text{dm}^3$; 2 – суміш водопровідної та дистильованої води (1:1) 15 dm^3 ($\text{pH}=8$, $\text{C}_{\text{поч.}}=0,1\text{mg}/\text{dm}^3$; $\text{C}_{\text{поч.}}=10,2\text{mg}/\text{dm}^3$; $\text{T}_{\text{поч.}}=2,3\text{mg-екв}/\text{dm}^3$); та водопровідна вода 16 dm^3 – 21 dm^3 ($\text{C Fe}^{2+}_{\text{поч.}}=0,25\text{mg}/\text{dm}^3$; $\text{pH}_{\text{в.в.}}=8$; $\text{C}_{\text{поч.}}=10,7\text{mg}/\text{dm}^3$; $\text{T}_{\text{поч. в.в.}}=4,5\text{mg-екв}/\text{dm}^3$), катіоніт у Na^+ формі, модифікований $\text{Fe}(\text{OH})_2$; $\text{C Fe}^{2+}=940\text{mg-екв}/\text{dm}^3$; 3 – дистильована вода ($\text{C Fe}^{2+}_{\text{поч.}}=0\text{mg}/\text{dm}^3$; $\text{C}_{\text{поч.}}=10,6\text{mg}/\text{dm}^3$; $\text{pH}=7,05$; $\text{T}_{\text{поч.}}=0\text{mg-екв}/\text{dm}^3$), катіоніт у Na^+ формі, модифікований $\text{Fe}(\text{OH})_2$; $\text{C Fe}^{2+}=1524\text{mg-екв}/\text{dm}^3$

Недоліком є вимивання заліза з поверхні іоніту який витісняється іонами кальцію за реакцією:



В окремих пробах концентрація заліза перевищила 60 mg/dm^3 . В середньому його концентрація досягла 5–15 mg/dm^3 (рис. 2). Це призводить до значного забруднення води, і вимивання значної кількості Fe з поверхні іоніта, без зв'язування з киснем.

У подальшому використовували катіоніт модифікований двоцвалентним залізом, з переведенням його у гідролізовану форму при обробці лугом. При цьому процес модифікації проходив за реакцією:



$\text{Fe}(\text{OH})_2$ залишається у мезопорах полімеру іоніту і грає роль відновника. Через отриманий редоксит пропускали дистильовану воду та суміш водопровідної і дистильованої води у співвідношенні 1 до 1.

При використанні дистильованої води (крива 3) проскок кисню відбувся майже одразу. Проте повна відновлювальна здатність до кисню досягла 1524 мг-екв/дм³.

Знекиснення суміші дистильованої та водопровідної води також проходить малоефективно. ВЗ по кисню склала всього 940 мг-екв/дм³, що головним чином пов'язано із малим об'ємом редокситу.

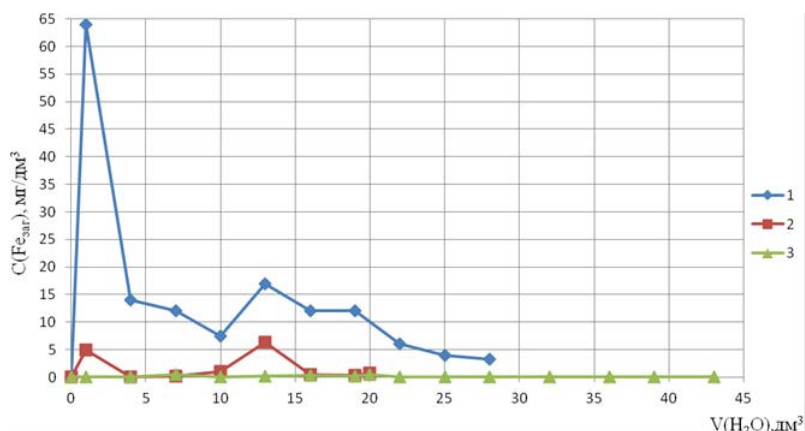


Рис. 2. Криві вимивання заліза з модифікованого катіоніту Dowex mac-3: 1 – водопровідна вода ($C_{\text{Fe}^{2+}} = 0,15$ мг/дм³; $\text{pH}=8$; $T=4,5$ мг-екв/дм³) катіоніт у Fe^{2+} формі; 2 – суміш водопровідної та дистильованої води (1:1) 15 дм³ ($C_{\text{Fe}^{2+}} = 0,1$ мг/дм³; $T=2,3$ мг-екв/дм³; $\text{pH}=8$) та водопровідна вода 16 дм³ – 21 дм³ ($C_{\text{Fe}^{2+}} = 0,25$ мг/дм³; $T=4,5$ мг-екв/дм³; $\text{pH}=8$), катіоніт у Na^+ формі, модифікований $\text{Fe}(\text{OH})_2$; 3 – дистильована вода ($C_{\text{Fe}^{2+}} = 0$ мг/дм³; $\text{pH}=7,05$; $T=0$ мг-екв/дм³) катіоніт у Na^+ формі, модифікований $\text{Fe}(\text{OH})_2$

Цікаво відмітити, що при використанні іоніту з гідролізованим залізом іони заліза не вимиваються лише у випадку пропускання дистильованої води. При пропусканні води із жорсткістю 2,3 мг-екв/дм³ в окремих пробах концентрація загального заліза досягає 5 мг/дм³, що пов'язано очевидно із вимиванням його з маси гідроксиду.

pH розчину у суміші водопровідної та дистильованої води досягає 8,7, дистильованої води змінюється у діапазоні 8–11 (рис. 3).

Значне підвищення pH дистильованої води пов'язано з гідролізом слабо кислотного катіоніту у Na^+ формі. При цьому очевидно гідроксид заліза був малорозчинним і його відновлювальна здатність зростала.

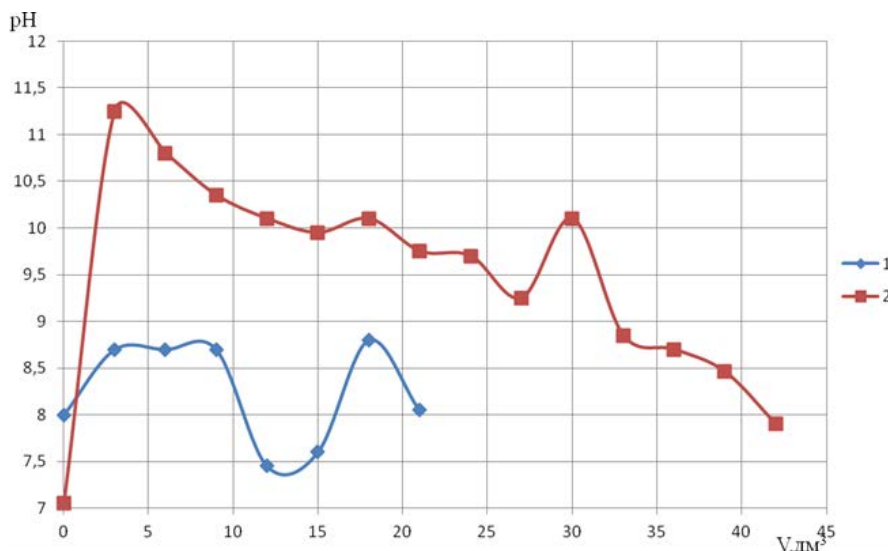


Рис. 3. Криві зміни pH від об'єму пропущеної води: 1 – суміш водопровідної та дистильованої води (1:1) 15 дм³ ($\text{pH}=8$; $C_{\text{Fe}^{2+}} = 0,1$ мг/дм³; $T=2,3$ мг-екв/дм³) та водопровідна вода 16 дм³–21 дм³ ($C_{\text{Fe}^{2+}} = 0,25$ мг/дм³; $T=4,5$ мг-екв/дм³; $\text{pH}=8$), катіоніт у Na^+ формі, модифікований $\text{Fe}(\text{OH})_2$; 2 – дистильована вода ($C_{\text{Fe}^{2+}} = 0$ мг/дм³; $\text{pH}=7,05$; $T=0$ мг-екв/дм³) катіоніт у Na^+ формі, модифікований $\text{Fe}(\text{OH})_2$

6. Обговорення результатів дослідження по знекисненню води модифікованими іонітами

В результаті досліджень були отримані позитивні результати при вилученні кисню з водопровідної води іонітом Dowex mac-3 повна обмінна ємність досягла 1251 мг-екв/дм³. В другому досліді іоніт модифікували двою валентним залізом, з переведенням його у гідролізовану форму при обробці лугом. Під час пропускання через шар модифікованого іоніту дистильованої води не отримали позитивного результату, так як відбувся майже відразу проскок. Проскок пов'язаний з кінетичними факторами, так як об'єм іоніту склав всього лише 20 см³. При такій малій кількості за час контакту води з редокситом кисень не встигає відновитися на модифікованому сорбенті. Але високі значення ВЗ (1524 мг-екв/дм³), говорить про те, що даний сорбент є перспективним для знекиснення води.

В літературі [10] описано використання такого сорбенту в об'ємі 50 см³, при цьому ємність іоніту по кисню досягає 2–3 тис. мг-екв/дм³.

Недоліком експерименту були вимивання заліза з поверхні іоніту.

7. Висновки

Таким чином, в результаті проведених досліджень отримали модифіковані іоніти, які отримували шляхом обробки визначеного об'єму катіоніту модифікуючими реагентами в заданій послідовності. При цьому підбиралися оптимальні умови модифікації.

Як модифікатори використовували сіль, що містить хімічний елемент змінної валентності – сірчанокисле залізо ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Показано, що іоніт у Fe^{2+} формі досить ефективно відновлює кисень на початковій стадії, ОЄ по кисню до проскоку склала 536 мг-екв/дм³, а повна обмінна ємність досягла 1251 мг-екв/дм³.

Недоліком є вимивання заліза з поверхні іоніту який витісняється іонами кальцію.

Знекиснення суміші дистильованої та водопровідної води також проходить малоефективно. ВЗ по кисню склала всього 940 мг-екв/дм³, що головним чином пов'язано із малим об'ємом редокситу.

Встановлено, що у випадку використання іоніту з гідролізованим залізом іони заліза не вимивалися при пропусканні через шар іоніту дистильованої води.

Література

1. Михайлов, И. Д. Дегазация воды в системах тепло- и водоснабжения [Текст] / И. Д. Михайлов // Аква – Мад. – 2008. – № 5. – С. 18–19.
2. Тамазашвілі, А. Т. Порівняння ефективності фосфатних інгібіторів корозії сталі у водопровідній воді [Текст] / А. Т. Тамазашвілі, Ю. І. Мазна, Л. В. Сіренко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 2, № 13 (56). – С. 28–31. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3943/3611>
3. Bernstein Hans-Friedrich. Water degassing in the networks of hot watersupply [Text] / Entgasung und Wasserbehandlung in Fernwärmesystement. Euroheat and power. – 2008. – Vol. 37, Issue 6. – P. 50–55.
4. Кравченко, Т. А. Обескислороживание воды редокситами / Ионообменные методы очистки веществ [Текст] / Т. А. Кравченко, А. Я. Гаталов; под ред. Г.А. Ликина. – Воронеж: ВГУ, 1984. – С. 167–183.
5. Кассиди, Т. Д. Окислительно-восстановительные полимеры [Текст] / Т. Д. Кассиди, К. А. Кун. – Л.: Химия, 1967. – 270 с.
6. Muraviev, D. Ion exchange. Theory and practice [Text] / D. Muraviev, V. Gorshkov, A. Warsawsky. – New York-Basel: M. Dekker, 2000. – 950 p.
7. А.С. 552303 СССР, МКИ С 02 В 1/40. Способ обезкислороживания воды/(СССР) [Текст] / Николаев Н. И., Шаталов А. Я., Кравченко Т. А. – № 2033707/26; Завл. 13.06.74; Опубл. 30.03.77.
8. Кравченко, Т. А. Кинетика и динамика процессов в редокситах [Текст] / Т. А. Кравченко, Н. И. Николаев. – М.: Химия, 1982. – 144 с.
9. Ергожин, Е. Е. Редокситы [Текст] / Е. Е. Ергожин, Б. А. Мухитдинова. – Алма – Ата: Наука, 1983.
10. Тамазашвили, А. Т. Оценка эффективности редокситов в зависимости от типа катионита и способа его модификации [Текст] / А. Т. Тамазашвили, В. С. Камаев, М. Д. Гомеля // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – № 6. – С. 58–62.
11. Тамазашвілі, А. Т. Вплив характеристик води, способу модифікації іоніту КУ–2–8 сполуками заліза (II) на ефективність видалення розчиненого кисню [Текст] / А. Т. Тамазашвілі, В. С. Камаев, М. Д. Гомеля // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – Т. 5, № 6 (53). – С. 23–27. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1242/1144>
12. Гомеля, М. Д. Оцінка відновлювальної здатності аніоніту АВ–17–8 в сульфатній формі [Текст] / М. Д. Гомеля, А. Т. Тамазашвілі // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 3, № 6 (57). – С. 27–31. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/4038/3702>
13. Ионообменные методы очистки веществ [Текст] / под ред. Г. А. Чикина, О. Н. Мьякого. – Воронеж: ВГУ, 1984. – 372 с.
14. Таваркиладзе, И. Н. Динамика восстановления кислорода редокситами в электрическом поле [Текст] / И. Н. Таваркиладзе, Т. А. Кравченко // Журнал физической химии. – 1987. – Т. 61, № 7. – С. 1890–1893.
15. Пешков, М. Д. Закономерности электровосстановления медьсодержащего редоксита, окисленного в водно-этиленглицеольевых растворах [Текст] / М. Д. Пешков, Н. В. Соцкая, Т. А. Кравченко и др. // Электрохимия. – 1989. – Т. 15, № 5. – С. 697–699.
16. Кравченко, Т. А. Окислительно-восстановительная сорбция [Текст] / Т. А. Кравченко // Вестник Воронежского государственного университета. Естественные науки. – 1996. – № 2. – С. 148–153.
17. Лурье, Ю. Ю. Химический анализ производственных сточных вод [Текст]: учебник / Ю. Ю. Лурье, А. И. Рыбникова. – М.: Химия, 1974. – 280 с.