

ЕКОЛОГІЯ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 504.062.2

ГОМЕЛЯ М. Д., д.т.н., проф.; ГОЛЯКА А. В., аспірант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ФІЛЬТРУВАННЯ ВОДИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЇЇ ЗНЕКИСНЕННЯ НА ЗАЛІЗОВМІСТКОМУ РЕДОКСИТІ

Проведено дослідження по визначенню ефективності залізовмістних редокситів на ефективність знекиснення води. В процесі дослідження визначали залежність ефективності знекиснення води від швидкості фільтрування. Швидкість фільтрування змінювали в діапазоні від 5 до 25 м/год. При цьому визначали залишковий вміст кисню та вміст розчиненого заліза у воді. Було показано що із збільшенням швидкості фільтрування у вказаних межах залишкова концентрація кисню зростає від 0,1-0,2 мг/дм³ до 0,9-1,0 мг/дм³. Залишковий вміст кисню залежить не лише від швидкості фільтрування, але і від реакції середовища. Відмічено зростання залишкової концентрації кисню при підвищенні рН середовища від 6,7 до 10,0. Залишковий вміст заліза мало залежить як від швидкості фільтрування, так і від реакції середовища і у всіх випадках не перевищував 0,2 мг/дм³. В даній роботі розчинення заліза в цілому визначалося попередньою підготовкою до роботи залізовмістного редокситу.

При використанні у схемі установки крім колонки із залізовмістним редокситом також колонки із катіонітом КУ-2-8 у Na⁺ формі відмічено практично повне вилучення іонів заліза із води та натрійкатіонне пом'якшення водопровідної води. В разі використання натрійкатіонованої води вилучення заліза із води буде спостерігатись протягом тривалого часу, враховуючи низьку концентрації іонів заліза у воді та високу ємність катіоніту по іонах заліза. Крім того сорбовані іони заліза (II) на катіоніті окислюються залишками кисню до заліза (III). Останні, при підвищених рН гідролізуються, що причиною відновлення ємності катіоніту по двохвалентних катіонах заліза.

У випадку, коли після колонки із залізовмістним редокситом використовували аніоніт АВ-17-8 у сульфатній формі було досягнуто повного вилучення кисню з води. Враховуючи те, що концентрація кисню у воді при застосуванні залізовмісного композиту знижувалась у 10-40 разів, то і навантаження на аніонообмінний редоксит знизиться пропорційно, а це значить, що в такійже пропорції зростає тривалість фільтроциклу аніонообмінного редокситу.

Ключові слова: корозія, киснева деполяризація, знекиснення води, редоксит, натрій-катіонування, знезалізнення води.

DOI: 10.20535/2617-9741.1.2021.228139

© Гомеля М. Д., Голяка А. В., 2021.

Постановка проблеми. До води, що використовується в тепломережах, у водогрійних котлах, парогенераторах, енергетичних системах, включаючи виробництво пари у промисловості та виробництво електроенергії на теплових та атомних електростанціях ставляться жорсткі вимоги не лише щодо стабільності по відношенню до осадоутворення, але і до корозійної агресивності. Тому в процесах підготовки води для теплоенергетичних систем широко використовують методи реагентного та натрійкатіонного пом'якшення, мембранного та іонообмінного знесолення води, додавання інгібіторів корозії та стабілізаторів накипоутворення [1].

Проте при використанні води у водогрійних та парових котлах застосування більшості реагентів небажане або недопустиме. Якщо врахувати, що корозія обладнання та трубопроводів у даному випадку обумовлена кисневою деполяризацією, то найбільш доцільним у запобіганні корозії є використання процесів деаерації води. При наявності кисню у живильних водах котлів та тепломереж у концентраціях більше 50мкг/дм³ швидкість корозії металів у воді при підвищених та високих температурах є досить значною. За даних умов різко скорочується термін експлуатації обладнання, суттєво зростають затрати на виробництво енергії та транспортування гарячої води. Тому найефективнішим процесом у зниженні корозійної

агресивності води в енергетиці є її глибоке знекиснення перед котлами, теплообмінним обладнанням, при підживленні тепломереж [2].

Аналіз попередніх досліджень. У більшості випадків для видалення кисню із води використовують хімічні [3,4,5], фізичні [1,6] методи та сорбційнокаталітичні [7,8,9].

При хімічній дегазації частіш за все використовують сульфід натрію [3,4] та гідразин. Перевагою сульфїту натрію перед гідрaziном є його низька токсичність. Проте в даному випадку при його окисленні у воді залишається сульфат натрію. Іншим недоліком сульфїту натрію є необхідність використовувати його у надлишку, або при використанні каталізаторів. За низьких концентрацій у звичайних умовах сульфід натрію недостатньо ефективний. Гідразин [5] забезпечує глибоке знекиснення води з утворенням інертного газу – азоту. Це є його перевагою. Але при цьому гідразин є високотоксичною речовиною з високою вартістю.

Фізичні методи зводяться, головним чином до вакуумування [1] та термічної обробки, що спричиняє зменшення розчинення газів. Обидва підходи є досить енергоємними.

Досить широко застосовуються сорбційно-каталітичні методи. Використовують модифіковані іоніти [7,8], волокнисті каталізатори [9].

Найбільш доступними є редоксити, отримані при модифікуванні катіонообмінних фільтрів сполуками заліза (II) [10]. Проте сорбційна ємність даних фільтрів по кисню є досить низькою. Суттєво вищу ємність мають аніоніти модифіковані сульфїтаніонами [11,12]. Суттєво збільшити ємність модифікованих аніонітів за киснем можна при забезпеченні надеквівалентної сорбції по сульфїтах на аніонітах [13]. Проте при відносно значних концентраціях хлоридів і сульфатів у воді, при підкисленні води ємність таких фільтрів по кисню різко зменшується. Значно ефективнішим є фільтр на основі залізомістких композитів, який за ємністю по кисню в багато разів перевищує модифіковані катіоніти та аніоніти [14]. Проте проблемою застосування даного редокситу є недостатньо висока ефективність видалення кисню і значні концентрації заліза на виході її адсорбційної колонки. Проблема вилучення надлишкового заліза вирішували за рахунок іонного обміну. Але недостатня ефективність видалення кисню є суттєвою проблемою. Також даний показник падає при підвищенні швидкості фільтрування, тому дослідження в даному напрямку направлені на підвищення ємності сорбентів по кисню та збільшенні їх фільтроциклу, підвищення ефективності знекиснення води.

Метою дослідження було отримання залізовмісних сорбентів кисню, визначення їх ефективності в залежності від швидкості фільтрування та реакції середовища води при контролі вмісту заліза у знекисненій воді.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- створення лабораторної установки для знекиснення води при використанні залізовмісного сорбенту;
- оцінка ефективності знекиснення води при різних швидкостях фільтрування;
- визначення впливу рН середовища на ефективність знекиснення води на залізовмісткому редокситі;
- оцінка ефективності доочищення води від іонів заліза на катіоніті та від кисню на модифікованому іонами SO_3^{2-} аніоніті.

Методика роботи. Процеси вилучення кисню вивчали при фільтруванні води через колонку заповнену подрібненим залізомістким матеріалом в якому вода контактує безпосередньо з металевою поверхнею. Для активації сорбенту в колонці об'ємом 130см^3 його спочатку обробляли водою з $\text{pH}=2,5-3,0$. Об'єм пропущеного розчину 5дм^3 . Після цього через колонку із сорбентом пропускали 5дм^3 розчину із $\text{pH}=10,5$. При цьому на поверхні сорбенту утворювалась пориста плівка, що складалась з гідроксиду заліза ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) та магнетиту (Fe_3O_4). Даний редоксит використовували шифом МЗ-Ф.

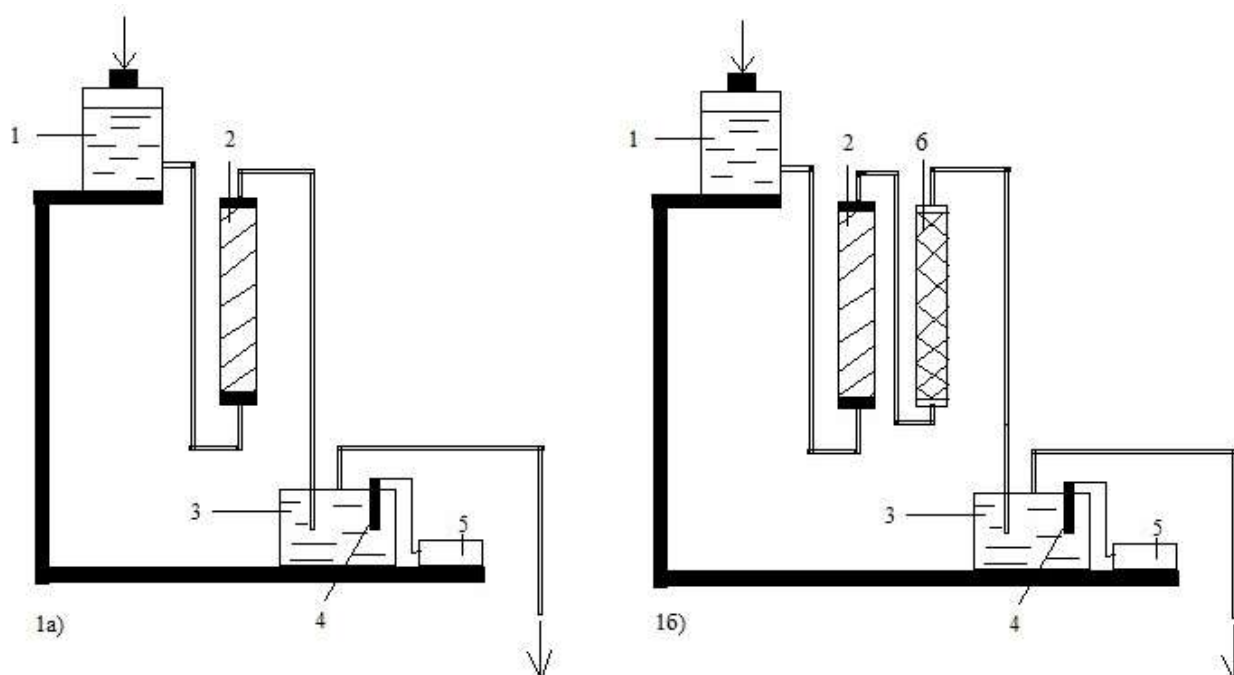
Схема установки представлена на рис.1.

Водопровідну воду (Жорсткість = $4,6\text{ мг-екв/дм}^3$, Лужність = $4,5\text{ мг-екв/дм}^3$, $[\text{Ca}^{2+}] = 3,8\text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{pH}=7,5$, $[\text{Cl}^-] = 47\text{ мг/дм}^3$, $[\text{SO}_4^{2-}] = 32\text{ мг/дм}^3$) пропускали через колонку з редокситом. Попередньо рН води доводили до 6,7; 8,5; 10,0 та не змінювали. Знекиснена вода (рис.1а) після редокситу постійно проходила через ємність 3, де було розміщено датчик оксиметру Milwaukee MW600 і після відбору проб для визначення вмісту заліза, скидалась в каналізацію. Швидкість фільтрування від 5 до 25 м/год.

На рис.1б представлено установку, в якій вода послідовно проходила через колонку з редокситом (2) колонку(6) заповнену катіонітом КУ-2-8 в Na^+ формі або аніонітом АВ-17-8 в SO_3^{2-} формі, проходила через ємність 3 і після відбору проб для визначення заліза скидалась в каналізацію. У випадку проходження води через катіоніт в кожному дм^3 відібраної води визначали її жорсткість.

Вміст заліза та жорсткість вимірювали за методикою описаною в [15].

В процесі проведення дослідження оксиметр постійно відмічав вміст кисню, вміст заліза визначали за згаданою методикою.



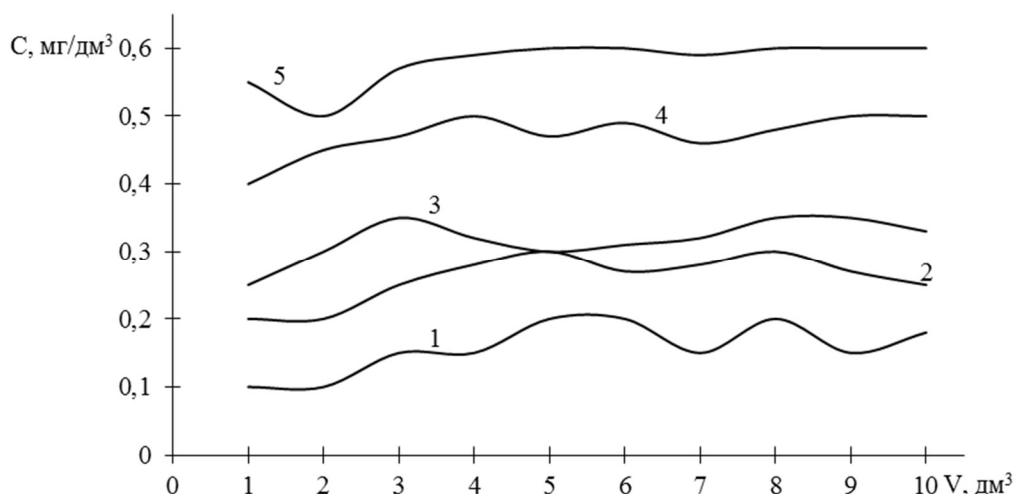
1 – ємність з водою; 2 – колонка з редокситом; 3 – ємність де розміщено датчик оксиметра Milwaukee MW600; 4 – датчик оксиметра; 5 – оксиметр; 6 – колонка заповнена катіонітом або аніонітом

Рис. 1 – Схема установки для знекиснення води (одноступенева(а), двоступенева(б))

Виклад основного матеріалу. При проведенні досліджень на першому етапі через залізовмісний матеріал фільтрували водопровідну воду із швидкістю від 5 до 25 м/год, реакцію середовища якої доводили до рівня рН=6,7 (рис.2).

Як видно з рис.2 концентрація кисню у воді при швидкості фільтрування 5 м/год знижувалась до 0,1-0,2 мг/дм³. При збільшенні швидкості фільтрування до 25 м/год вміст кисню в обробленій воді зростав до 0,6 мг/дм³. При цьому ефективність видалення кисню ніяк не змінювалась при зростанні об'єму обробленої води. Слід відмітити, що в усіх дослідах використовували одне і те ж саме завантаження залізовмісного редокситу без будь-якої його регенерації.

Середня концентрація заліза впродовж усіх дослідів залишалась постійною, тому не було сенсу будувати графічні залежності, а дані по вмісту заліза приведені в таблиці 1. Як видно з таблиці при рН=6,7 найвища концентрація заліза була при швидкості фільтрування 5 м/год. При підвищенні швидкості фільтрування концентрація заліза у воді знижується, що можливо обумовлено його ефективним окисленням на поверхні гідроксиду заліза або магнетиту, які відіграють роль каталізаторів [16,17]. При інших рН середовища (8,5 та 10,0) відмічалось зниження вмісту заліза у воді як при підвищенні рН середовища, так і при збільшенні швидкості фільтрування. Як це не дивно, але при підвищенні рН середовища до 8,5 (рис.3) та 10,0 (рис.4) ефективність вилучення кисню падала. Очевидно це пов'язано із зниженням швидкості розчинення металевого заліза при підвищенні рН. Але враховуючи велику площу поверхні редокситу він все-таки забезпечував достатньо високу ефективність знекиснення води. При рН=8,5 концентрація кисню знижувалась до 0,3-0,7 мг/дм³ при зростанні швидкості фільтрування від 5 до 25 м/год. При рН=10,0 концентрація залишкового кисню сягала 0,5-1,0 мг/дм³.



1 – швидкість фільтрування 5м/год; 2 – швидкість фільтрування 10м/год; 3 – швидкість фільтрування 15м/год; 4 – швидкість фільтрування 20м/год; 5 – швидкість фільтрування 25м/год

Рис. 2 – Залежність концентрації кисню від пропущеного об'єму водопровідної води рН=6,7 через редоксит МЗ-Ф при різній швидкості фільтрування

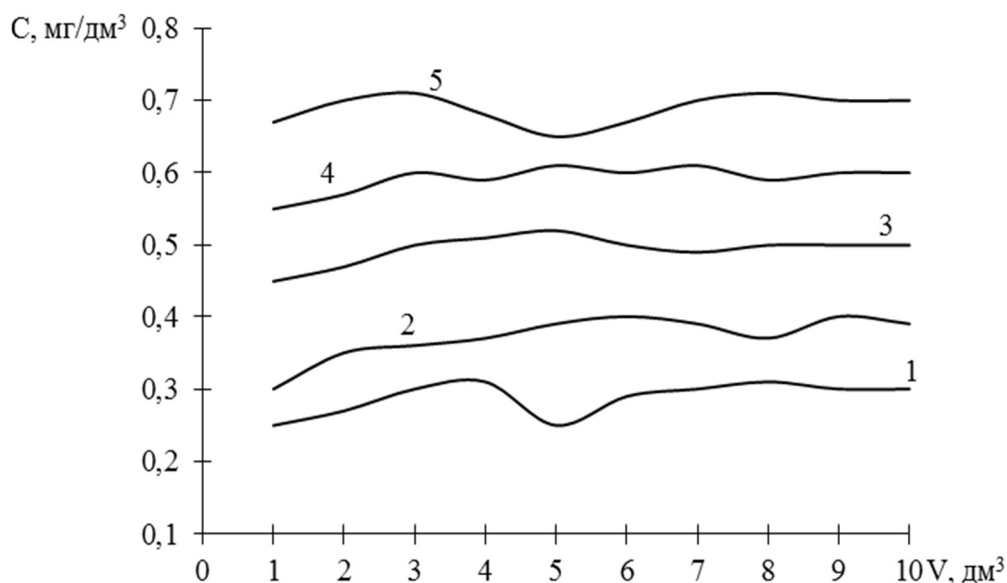
Таблиця 1 – Залежність концентрації заліза у водопровідній воді профільтрованої через редоксит МЗ-Ф в залежності від реакції середовища та швидкості фільтрування

Об'єм профільтрованої води, дм ³	рН	Середня концентрація заліза, мг/дм ³				
		Швидкість фільтрування, м/год				
		5	10	15	20	25
10	6,7	0,2	0,17	0,15	0,14	0,14
10	8,5	0,15	0,12	0,11	0,1	0,1
10	10	0,1	0,1	0,09	0,08	0,07

Згідно технічних вимог до води, що подається на підживлення котлів та теплових мереж концентрація кисню повинна бути < 50мкг/дм³, а заліза < 0,2 мг/дм³. Тому нами було використано два варіанти двохстадійного фільтрування води – через залізоміський редоксит та катіоніт КУ-2-8 в Na⁺ формі, або через редоксит та аніоніт АВ-17-8 в SO₃²⁻ формі. Результати приведені на рис.5. Як видно з рис.5 при використанні на другій стадії катіоніту КУ-2-8 в Na⁺ формі було забезпечено ефективне пом'якшення 28дм³ води та ефективне видалення заліза. Проте, якщо врахувати що і після редокситу кількість заліза у розчині не перевищує 0,2 мг/дм³, а на водогрійні котли та у тепломережі подають пом'якшену воду, то ефективність застосування другої стадії фільтрування у даному випадку сумнівна. Особливо, якщо врахувати, що концентрація кисню у обробленій воді сягає 100-150 мкг/дм³ при нормів 50 мкг/дм³. А от при використанні на другій стадії аніоніту в SO₃²⁻ формі показники по концентрації заліза залишились незмінними, проте досягнуто повного вилучення кисню.

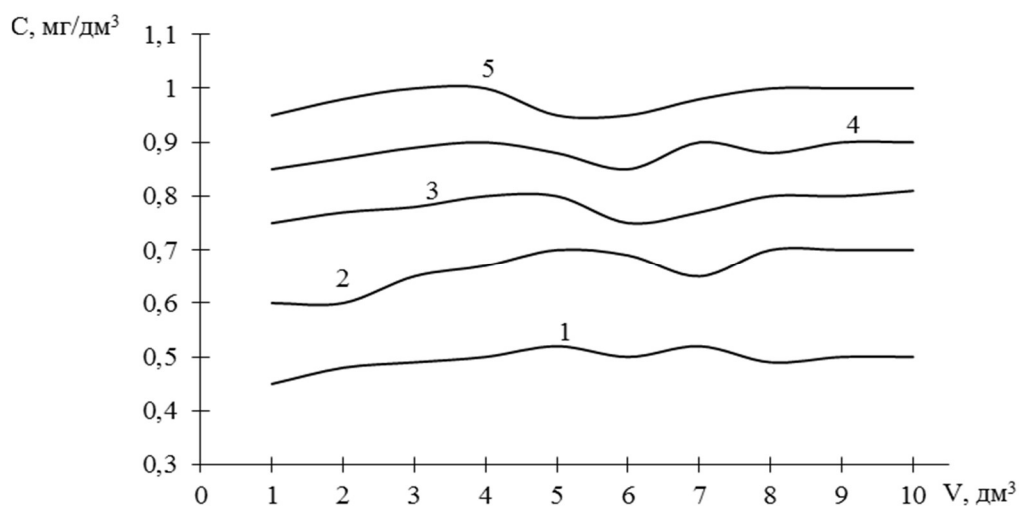
Визначити повну ємність по кисню системи не вдалося. Якщо врахувати, що ємність 50см³ АВ-17-8 в SO₃²⁻ формі сягає близько 200 мг-екв (до 1600мг, а після редокситу максимальний вміст кисню 150мкг/дм³) то для визначення повної ємності системи по кисню потрібно було б пропустити більше 10 000 дм³ води. Останній варіант є досить перспективним до впровадження.

Висновки. Показано, що підвищення швидкості фільтрування води через фільтр заповнений редокситом від 5 до 25м/год при підвищенні рН середовища від 6,7 до 8,5 та 10,0 призводить до зниження ефективності зв'язування кисню ([O₂] = 0,1-0,5 мг/дм³ при W_ф = 5 м/год, [O₂] = 0,6-1,0 мг/дм³ при W_ф = 25 м/год). В цілому залишкова концентрація кисню зростає від 0,2 до 1,0 мг/дм³.



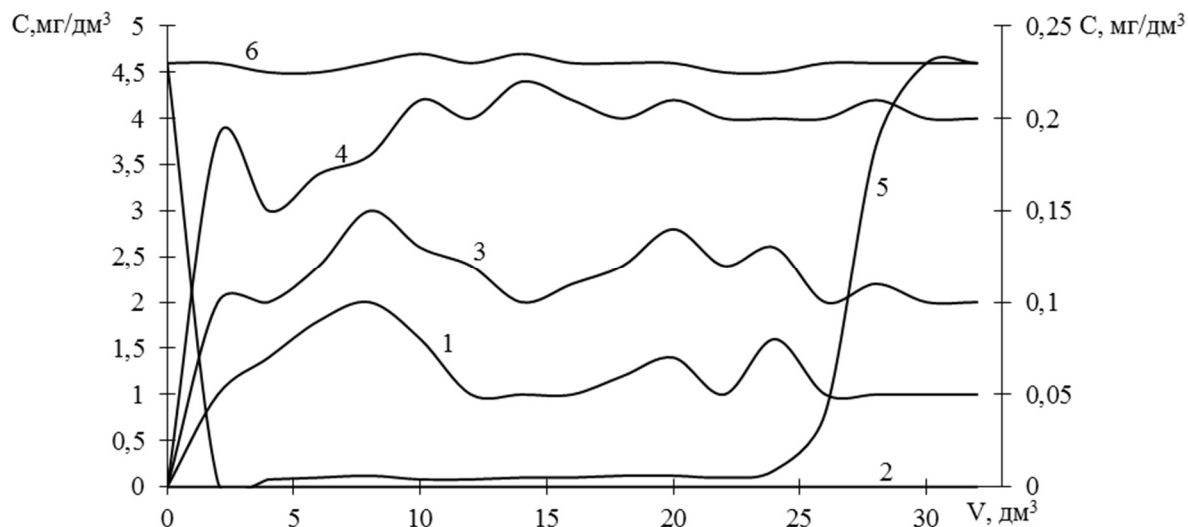
1 – швидкість фільтрування 5м/год; 2 – швидкість фільтрування 10м/год; 3 – швидкість фільтрування 15м/год; 4 – швидкість фільтрування 20м/год; 5 – швидкість фільтрування 25м/год

Рис. 3 – Зміна концентрації кисню з об'ємом профільтрованої водопровідної води (рН=8,5) через редоксит МЗ-Ф при різній швидкості фільтрування



1 – швидкість фільтрування 5м/год; 2 – швидкість фільтрування 10м/год; 3 – швидкість фільтрування 15м/год; 4 – швидкість фільтрування 20м/год; 5 – швидкість фільтрування 25м/год

Рис. 4 – Зміна концентрації кисню з об'ємом профільтрованої водопровідної води (рН=10,0) через редоксит МЗ-Ф при різній швидкості фільтрування



- 1 – концентрація кисню після колонки з катіонітом КУ-2-8 в Na^+ формі (додаткова вісь координат);
2 – концентрація кисню після колонки з аніонітом АВ-17-8 в SO_3^{2-} формі (додаткова вісь координат);
3 – концентрація заліза після колонки з катіонітом КУ-2-8 в Na^+ формі (додаткова вісь координат);
4 – концентрація заліза після колонки з аніонітом АВ-17-8 в SO_3^{2-} формі (додаткова вісь координат);
5 – жорсткість води після колонки з катіонітом КУ-2-8 в Na^+ формі;
6 – жорсткість води після колонки з аніонітом АВ-17-8 в SO_3^{2-} формі

Рис. 5 – Залежність концентрації кисню, заліза, жорсткості водопровідної води (рН=7,5, Жорсткість=4,6 мг-екв/дм³, [O₂]= 8,5 мг/дм³) при послідовному її фільтруванні через колонку із редокситом МЗ-Ф та колонку заповнену катіонітом КУ-2-8 в Na^+ формі або аніонітом АВ-17-8 в SO_3^{2-} формі при швидкості фільтрування 5 м/год

Встановлено, що при використанні редокситу МЗ-Ф при фільтруванні водопровідної води через сорбент із швидкістю 5-25 м/год при рН=6,7; 8,5 та 10,0 помітного переходу іонів заліза у воду не відбувалося. Вміст заліза у воді не перевищував 0,2 мг/дм³.

Визначено залежність концентрації заліза та кисню при фільтруванні води послідовно через редоксит та катіоніт в Na^+ формі. Відмічено ефективне вилучення іонів заліза, жорсткості без суттєвого впливу на залишкову концентрацію кисню.

Показано, що послідовне використання редокситу МЗ-Ф та аніоніту АВ-17-8 в SO_3^{2-} формі при знекисненні води забезпечує повне вилучення кисню із води при значному підвищенні фільтроциклу аніоніту в сульфатній формі через значне зниження кисню у воді на залізовмісткому редокситі.

Перспективи подальших досліджень. В подальшому планується визначити вплив хімічних відновників на ефективність залізовмісткого редокситу. Враховуючи каталітичну активність гідроксидів заліза та магнетиту цілком можливо при правильному коригуванні рН середовища досягти практично повного видалення кисню. Важливо визначити мінімальну тривалість фільтроциклу при використанні фільтру.

Список використаної літератури

1. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. Москва:МГУ. 1996. С. 680.
2. Cervova, J. Corrosive protection of metal materials in cooling water / J.Cervova, M.Nagarova, P. Lackova // American Journal of Materials Science and Application. – 2014. - №1. – Р. 6-10.
3. Спосіб хімічного знекиснення води: пат. 72404 Україна: МПК C02F 1/70, C02F 1/42. Опубл. 15.02.2005.
4. Поржезінський, Ю.Г. Нові технологічні рішення в хімічній дегазації води / Ю.Г. Поржезінський, С.І. Рибалка // Наукові праці НУХТ. – 2009. - №32, С. 5-6.

5. Andries V., Couturier D. Reduction of dissolved oxygen in water: hydrazine and its organic substitutes. Materials performance. 2000. 39, №7. P. 58-61.
6. Siwiec, T. The influence of aeration on the change in corrosiveness and aggressiveness of groundwater / T.Siwiec, M.M. Michel, L.Reczek, P. Nowak // Water Science and Technology: Water Supply. – 2016. - №16, 2/ - P.445-452.
7. Киприянова, Е. С. Восстановительная сорбция молекулярного кислорода из воды наноккомпозитом серебро-сульфокатионообменник КУ-23 различной ионной формы / Е.С. Киприянова, Т.А. Кравченко, Д.В. Конев, А.И. Калинин, В.Х.Хелль // Журнал физической химии. – 2010. – Т.84. №6. – С. 1104-1110.
8. Полянский, Л. Н. Макросинтетика и динамика редокс-сорбции кислорода наноккомпозитами металл-ионообменник при электрохимической поляризации / Л. Н. Полянский // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2014. - №5. – С. 813-823.
9. Егизаров, Ю. Г. Волокнистые палладийсодержащие катализаторы обескислороживания воды / Ю. Г. Егизаров, А.Ю. Володин, А.А. Шункевич, Б.Х. Черчес, В.З. Радкевич, М.Ф. Горбацевич, Л.Л. Потапова // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2013. №2. – С. 41-49.
10. Тамазашвили, А.Т. Оценка эффективности редокситов в зависимости от типа катионита и способа его модификации / А.Т. Тамазашвили, В.С. Камаев, Н.Д. Гомеля // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. - №6. – С. 58-62.
11. Tamazashvili, A. Evaluation of the reducing ability of anion exchange resin AV-17-8 in the sulphite phorm / A.Tamazashvili, I. Makarenko // Chemistry & chemical technology. – 2015. - №1. – P. 91-94.
12. Гомеля, М. Д. Оцінка відновлювальної здатності аніоніту АВ-17-8 в сульфідній формі / М.Д. Гомеля, А.Т. Тамазашвілі // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. - №3/6 (57). – С. 27-31.
13. Шуриберко М.М. Дослідження процесів сорбції та десорбції сульфідів на аніонообмінних редокситах / М.М. Шуриберко, М.Д. Гомеля, Т.О. Шаблій, В.А. Цвенюк // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2017. - №6/6(90). – С.47-52.
14. Гомеля М.Д. Знекиснення води за допомогою завантаження на основі залізомістких композитів / М.Д. Гомеля, М.М. Шуриберко, А.В. Голяка // Вчені записки Таврійського університету ім. В.І. Вернадського. – 2018. – Т. 29(68). - №6. – С. 64-69.
15. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. Москва, 1989. 448 с.
16. Твердохліб М.М. Каталітичний ефект продуктів гідролізу заліза при знезалізненні підземних вод / М.М. Твердохліб, М.Д. Гомеля // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. – К.: КНУБА . – 2019. – Вип. 29.- С. 37-45.
17. Твердохліб М.М. Дослідження ефективності знезалізнення води в присутності магнетиту та модифікованої магнетитом смоли / М.М. Твердохліб, М.Д. Гомеля, // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. – К.: КНУБА . – 2017. – Вип.28. – С. 324-332.

Надійшла до редакції 06.03.2021

Homelia M. D., Holiaka A. V.

THE INFLUENCE OF WATER FILTRATION RATE ON THE EFFICIENCY OF ITS OXIDIZATION ON IRON-CONTAINING REDOXITE

Experimet to determine the effectiveness of iron-containing redoxites on the efficiency of water deoxidation. In the course of the study, the dependence of the efficiency of water deoxidation on the filtration rate was determined.

The filtration rate was varied in the range from 5 to 25 mph. The residual oxygen content and the dissolved iron content in the water were determined. It was shown that with increasing filtration rate within these limits, the residual oxygen concentration increases from 0.1-0.2 mg/dm³ to 0.9-1.0 mg/dm³. The residual oxygen content depends not only on the filtration rate but also on the reaction of the medium. An increase in the residual oxygen concentration with increasing pH of the medium from 6.7 to 10.0.

Residual iron content depends little on both the filtration rate and the reaction medium and in all cases did not exceed 0.2 mg / dm³. In this work, the dissolution of iron in general was determined by preliminary preparation for the work of iron-containing redoxite.

When used in the installation scheme, in addition to the column with iron-containing redoxite, also columns with cation exchange resin KU-2-8 in Na-form, almost complete removal of iron ions from the water and natriation

softening of tap water was noted. In the case of sodium-cationized water, the extraction of iron from water will be observed for a long time, given the low concentration of iron ions in the water and the high capacity of the cation exchange resin in iron ions. In addition, sorbed iron (II) ions on the cation exchange resin are oxidized by oxygen residues to iron (III). The latter, at elevated pH, are hydrolyzed, which is the reason for the restoration of capacity and cation exchange resin by divalent iron cations.

In the case when after the column with iron-containing redoxite used anion exchange resin AB-17-8 in sulfite form, complete extraction of oxygen from water was achieved.

Given that the oxygen concentration in water with the use of iron-containing composite decreased by 10-40 times, the load on the anion exchange redox will decrease proportionally, which means that the duration of the anion exchange redox filter cycle will increase in the same proportion.

The use of iron in the second stage of the anion exchange resin in the SO_3^{2-} form remained unchanged, but complete oxygen extraction was achieved. The option is quite promising for implementation.

Keywords: corrosion, oxygen depolarization, water deoxidation, redoxite, sodium cationization, water deironing.

References

1. Frog B.N., Levchenko A.P. Vodopodgotovka (1996). Moskva: MGU. 680.
2. Cervova, J., Hagarova, M., Lackova, P. (2014). Corrosive protection of metal materials in cooling water. American Journal of Materials Science and Application, 1, 6-10.
3. Sposib khimichnoho znekysnennia vody (2005) pat. 72404 Ukraina: MPK C02F 1/70, C02F 1/42..
4. Porzhezinskiy, J. G., Rybalka S.I. (2009). Novi tehnologichni rishennya v himichniy degazatsii vody. Naukovi pratsi NUHT, 32, 5-6.
5. Andries V., Couturier D. (2000). Reduction of dissolved oxygen in water: hydrazine and its organic substitutes. Materials performance, 39, 7, 58-61.
6. Siwec, T., Michel, M. M., Reczek, L., Nowak, P. (2016) The influence of aeration on the change in corrosiveness and aggressiveness of groundwater. Water Science and Technology: Water Supply, 6,2,445-452.
7. Kipriyanova, E. S., Kravchenko, T. A., Konev, D.V., Kalinichev, A.I., Hell V.X. (2010). Vosstanovitel'naya sorbtciya molekulyarnogo kisloroda iz vody nanokompozitom srebro-sulfokationoobmennik KU-23 razlichnoy ionnoy formy. Zhurnal fizicheskoy himii, 84., 6, 1104-1110.
8. Polyanskiy, L. N. (2014). Makrokinetika i dinamika redoks-sorbtsii kisloroda nanokompozitami metal-ionoobmennik pri elektrohimicheskoy polyarizatsii. Sorbtsionnye i hromatograficheskie protsessy, 5, 813-823.
9. Egizarov, J. G., Volodin, A. J., Shunkevych, A. A., Cherches, B. H., Radkevich, V. Z., Gorbatsevich, M. F., Potapova, L. L. (2013). Voloknistye palladiysderzhaschie katalizatory obeskislorozhyvaniya vody. Vestci natcyyanalnaya akademii navuk Belarusi. Seryya himichnyh navuk, 2, 41-49.
10. Tamazashvili, A. T., Kamaev, V. S., Homelia, N. D. (2011). Otcenka effektivnosti redoksitov v zavisimosti ot tipa kationita i sposoba ego modifikatsii. / Energotehnologii i resursosberezhenie, 6, 58-62.
11. Tamazashvili, A., Makarenko, I. (2015). Evalation of the reducing ability of anion exchange resin AV-17-8 in the sulphite phorm. Chemistry & chemical technology, 1, 91-94.
12. Homelia, M.D., Tamazashvili, A. T. (2012). Otsinka vidnovlyuvalnoy zdatnosti anionitu AV-17-8 v sulfitniy formi. Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovyh tehnologiy, 3/6(57), 27-31.
13. Shuryberko, M. M., Homelia, M. D., Shablui, T.O., Tsveniuk, V.A. (2017). Doslidzhennia protsesiv sorbtsii ta desorbtsii sulfitiv na anionoobminnykh redoksyтах. Skhidno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnolohii, 6/6(90), 47-52.
14. Homelia, M.D., Shuryberko, M.M., Holiaka, A.V. (2018). Znekysnennia vody za dopomohoiu zavantazhennia na osnovi zalizomistkykh kompozytiv. Vcheni zapysky Tavriiskoho universytetu im. V.I. Vernadskoho, 29(68), 6, 64-69.
15. Lurie Yu. Yu.(1989). Spravochnyk po analytycheskoi khymyy. Moskva, 448.
16. Tverdokhlib, M.M., Homelia, M.D. (2019). Katalitychniy efekt produktiv hidrolizu zaliza pry znezalznenni pidzemnykh vod. Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliki: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – K.: KNUBA, 29, 37-45.
17. Tverdokhlib, M.M., Homelia, M.D. (2017). Doslidzhennia efektyvnosti znezalznennia vody v prysutnosti mahnetytu ta modyfikovanoi mahnetytom smoly. Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliki: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – K.: KNUBA, 28, 324-332.