УДК 628.163.0015 **DOI 10.20535/1813-5420.2.2023.279720**

М. В. Карпенко[1], аспірант, ORCID 0000-0003-3237-4130
Я.В. Радовенчик[1], канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-0101-0273
О. І. Іваненко[1], д-р. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0001-6838-5400
[1]Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИДАЛЕННЯ СПОЛУК ЗАЛІЗА ІЗ МЕХАНІЧНИХ ФІЛЬТРІВ ПОБУТОВИХ ЗВОРОТНООСМОТИЧНИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Анотація. *Сьогодні найбільш зручним та поширеним варіантом очищення та доочищення питних вод є встановлення систем зворотного осмосу безпосередньо в точках водовідбору. При експлуатації систем зворотного осмосу більшість власників не переймаються негативними наслідками використання таких систем. Адже після 3-6 місяців використання механічних фільтрів першого ступеню обробки води такі фільтри викидаються разом з іншим побутовим сміттям. Вони становлять значну загрозу для довкілля. На сьогодні в Україні не існує компаній чи організацій, які б займалися збором та утилізацією таких фільтрів. Цей напрямок є неосвоєним. Практично відсутні відповідні дані і в науковій літературі. Якщо зважити на те, що лише в м. Києві за нашими підрахунками сьогодні експлуатується біля 88 тис. побутових систем зворотного осмосу, то легко порахувати, що протягом року в довкілля потрапляє 176 тис. картриджів загальним об'ємом поліпропілену 105 м^3. Загальну шкоду для довкілля від картриджів навіть одного міста важко уявити. Тому питання регенерації механічних фільтрів систем зворотного осмосу є достатньо актуальним і важливим на сьогодні. Метою даної роботи є розробка екологічно безпечної технології регенерації механічних фільтрів з можливістю їх багаторазового використання. У цій статті висвітлюються результати досліджень з регенерації механічних фільтрів, наводиться характеристика процесу очищення шляхом використання сірчаної кислоти, показуються варіанти екологічно безпечної переробки відходів з такої регенерації.*

Ключові слова: *зворотній осмос, картридж, механічний фільтр, регенераційний розчин, нейтралізація, фільтрування, сульфатна кислота.*

Вступ. Інтенсивне забруднення поверхневих та підземних вод в результаті антропогенної діяльності людини з кожним роком скорочує кількість придатної для споживання води. Сьогодні практично всі водойми на території України характеризуються як забруднені та брудні (III-й та IV-й клас якості) [1]. В окремих регіонах України, включаючи басейни Дніпра, Сіверського Дінця, річок Приазов'я вода класифікується як «дуже брудна» (V-й клас якості). Тому перед споживанням таких вод необхідно обов'язково проводити їх очищення та знезараження. Але навіть в цьому випадку не можна гарантувати необхідну якість питної води в місцях водовідбору, оскільки в процесі попередньої обробки води спостерігається її вторинне забруднення хімічними реагентами та хлором, а тривале перебування в старих, досить зношених трубопроводах супроводжується переходом у воду сполук заліза та різноманітних біологічних об'єктів [2]. Тому в більшості країн світу найбільш прийнятним варіантом приведення якості питної води до вимог чинних нормативних документів вважається доочищення її безпосередньо в точках водовідбору – квартирах, будинках, офісах [3]. Досвід останніх років показує, що найбільш зручним та поширеним варіантом очищення та доочищення питних вод є встановлення систем зворотного осмосу.

При експлуатації систем зворотного осмосу більшість власників не переймаються негативними наслідками використання таких систем. Практично відсутні відповідні дані і в науковій літературі. Тому, зважаючи на широке розповсюдження таких систем, дослідження в цьому напрямку є досить актуальними та своєчасними. Причому, важко без відповідних досліджень навіть уявити, які системи наносять довкіллю більше шкоди – промислові чи побутово-офісні. На відміну від останніх, промислові системи ще не набули такого масового використання і при їх експлуатації є можливість впроваджувати технології регенерації елементів системи та промивки мембран і фільтрів, знешкоджувати концентрати і т.п., оскільки все це локалізується на невеликій території. У випадку ж побутово-офісних систем такої можливості не існує, а будь-які ефективні дії в цьому напрямку потребують від користувачів широкого спектру спеціальних знань та умінь. Тому всі відходи експлуатації таких систем просто скидаються в довкілля.

Типова сучасна система зворотного осмосу може нараховувати сьогодні до 9 ступенів обробки води [3]. При цьому кожна ступінь призначена для видалення тих чи інших забруднень або обробки води з метою покращення її якості.

Ефективність процесу зворотного осмосу щодо різних домішок та розчинених речовин залежить від ряду факторів. Тиск, температура, рівень pH, матеріал мембрани та хімічний склад вхідної води впливають на ефективність роботи систем зворотного осмосу.

На першій ступені обробки із потоку видаляють тверді частки розміром до 1 – 20 мкм в залежності від початкового складу води. Для цього використовують, переважно, картриджі із поліпропілену з відповідним розміром пор. В процесі експлуатації в порах та на поверхні картриджа осаджуються частинки піску, глини, іржі, гідроксидів металів, органічних об'єктів і т.п. З часом гідравлічний опір картриджа в результаті заповнення пор та формування на поверхні шару домішок стає досить значним, що потребує збільшення витрат енергії для систем із додатковим насосом чи супроводжується зниженням продуктивності обладнання доочищення для систем, підключених безпосередньо до мережі централізованого водопостачання. Як показали наші дослідження (рис. 1), навіть при незначних напорах, різниця між «чистим» картриджем та картриджем з вичерпаним ресурсом використання досить суттєва. Характеристики картриджа за 6 місяців погіршуються більше ніж у 2 рази. Картридж, котрий відпрацював свій ресурс, потребує заміни. Його демонтують і замінюють новим. Використаний картридж разом із затриманими ним забрудненнями поповнює об'єм твердих побутових відходів.

Мета та завдання. Метою даної роботи є розробка екологічно безпечної технології регенерації механічних фільтрів з можливістю їх багаторазового використання. Головним завданням дослідження є пошук ефективних та екологічно безпечних способів очищення механічних фільтрів систем зворотнього осмосу.

Методика роботи полягала в осадженні розчинів $FeCl_3*6H_2O$ різної концентрації розчинами NaOH та $Ca(OH)_2$, дослідженні інтенсивності розчинення отриманих осадів розчинами сірчаної кислоти різної концентрації, визначенні інтенсивності освітлення та фільтрування отриманих суспензій.

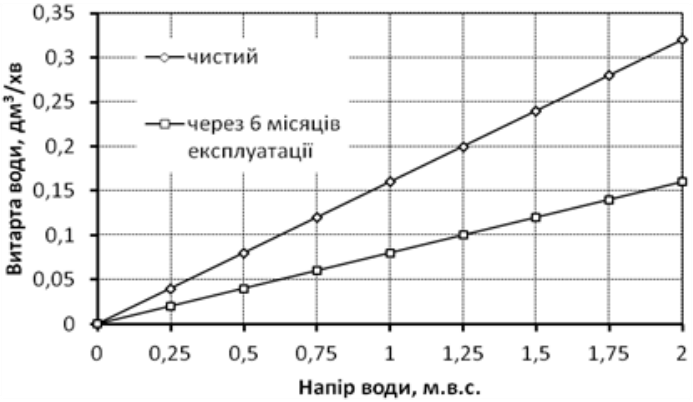

Рисунок 1 – Зміна пропускної здатності поліпропіленового картриджа в процесі експлуатації

Механічний фільтр типової побутової десятидюймової системи зворотного осмосу представляє собою картридж у вигляді порожнистого циліндру із пористого поліпропілену зовнішнім діаметром 6,35 см, внутрішнім діаметром 3 см та довжиною 25,4 см (рис. 2). Картридж може бути сформований із спіненої поліпропіленової маси або намотаний поліпропіленовим волокном. Картриджі виготовляються з розміром пор (мікронаж) 1, 5, 10 та 20 мкм. Вартість картриджів у відповідних компаніях на території України починається, приблизно, з 20 грн. і збільшується до 100 і більше гривень в залежності від наявності антибактеріального покриття, обробки поверхні спеціальними реагентами і т.п. [4 - 6]. Більш важливим параметром є періодичність заміни картриджа. На жаль, сьогодні єдиного підходу в цій справі немає. Ряд компаній пропонують замінювати картридж не рідше 1 разу в 6 місяців [7 - 9], інші – зазначають в характеристиках його ресурс, наприклад, 10 000 дм^3 води [10 - 12]. Але проблема в тому, що переважна більшість побутових систем не обладнані лічильниками обробленої води, тому зафіксувати момент вичерпання ресурсу практично неможливо. Заміна картриджа кожні 6 місяців також є досить суб'єктивною процедурою, оскільки не враховує якість води, інтенсивність її споживання, умови експлуатації системи і т.п.

Виходячи з викладеного, в результаті експлуатації побутової системи зворотного осмосу протягом року замінюється 2 поліпропіленові картриджі. Ряд компаній при заміні картриджів забирають використані для знешкодження [13 - 14], однак нам не вдалося ознайомитися із реальною технологією цієї процедури. І якщо з точки зору економіки можливо цей факт виправдати, оскільки вартість картриджів досить низька, то екологічні аспекти з кожним роком будуть загострюватися. Легко порахувати, що кожен картридж вміщує біля 625 см^3 спіненого поліпропілену або поліпропіленової нитки. В процесі експлуатації картридж не зазнає якихось змін, що перешкоджають його повторному використанню. Оскільки картридж виготовлено із пористого поліпропілену, то можна стверджувати, що саме такі вироби в довкіллі стають джерелами часток мікропластику. В потоці побутових відходів, куди переважно потрапляють картриджі сьогодні, в результаті багаторазових перевантажень та транспортувань саме з такими пористими елементами відбувається руйнування в найбільшій мірі. Та й 625 см^3 поліпропілену гарантовано збережуть

якийсь об’єм вуглеводнів. Все викладене свідчить на користь регенерації поліпропіленових картриджів та повторного їх використання. Якщо зважити, що лише в м. Києві за нашими підрахунками сьогодні експлуатується біля 88 тис. побутових систем зворотного осмосу, то легко порахувати, що протягом року в довкілля потрапляє 176 тис. картриджів загальним об’ємом поліпропілену 105 м^3. Загальну шкоду для довкілля від картриджів навіть одного міста важко уявити. З іншого боку, більшість власників систем зворотного осмосу для заміни картриджів користуються послугами спеціалізованих компаній, тому збір картриджів із вичерпаним ресурсом та їх локалізація в одному місці взагалі не є проблемою.

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд та розміри типового 10 " поліпропіленового картриджа: а – пресований; б – з поліпропіленової нитки; в – після 6 місяців експлуатації; г – основні розміри

Оскільки екологічний аспект – основна мета нашого дослідження, то очевидно, що і технологія регенерації поліпропіленових картриджів повинна бути екологічно безпечною. З цієї точки зору і розроблялася дана технологія.

Проведені нами дослідження показали, що основну масу твердих часток, затриманих картриджем, представляють оксиди та гідроксиди заліза (III) (рис. 3). Дослідження проведені для картриджів, що використовували для очищення води з підземного горизонту.

Рисунок 3 – Склад осадів на поліпропіленових фільтрах

При доочищенні води централізованого водопостачання склад осадів буде, очевидно, іншим. Для очищення картриджа від таких забруднень найбільш прийнятним видається використання кислот відповідної концентрації, оскільки ефективно видаляти тверді частки з пор картриджа без їх розчинення практично неможливо. Вивчення особливостей використання таких картриджів показало, що при тривалій їх експлуатації чи при значній концентрації сполук заліза, на поверхні картриджа формується намивний шар із забруднень, котрий руйнується при видаленні картриджа з водного середовища. Таким чином, перший етап регенерації картриджа відбувається вже на етапі його демонтажу. Наступний етап доцільно проводити розчинами сірчаної кислоти. При цьому оксиди та гідроксиди заліза (III) переходять в розчин та звільняють пори картриджа: $2Fe(OH)3 + 3H2SO4 \rightarrow Fe2(SO4)3 + 3H2O$.

Оскільки значний надлишок кислоти потребує значної витрати реагентів при наступній нейтралізації, нами було досліджено швидкість розчинення гідроксиду заліза (III) в розчинах сірчаної кислоти (рис. 4). Встановлено, що при терміні контакту з розчином кислоти протягом 30 хв. досягається різна ступінь розчинення попередньо осадженого гідроксиду заліза (III). Як видно з рис. 4, при підтриманні pH на рівні 1,5 весь осад протягом зазначеного часу переходить в розчин кислоти. При цьому доцільно кислоту додавати по мірі росту pH. Як показує досвід роботи з використаними картриджами механічного очищення, всі вони мають різний рівень забруднення, тому важко визначити завчасно концентрацію та необхідний об’єм кислоти для їх регенерації. При pH регенеруючого розчину на рівні 2,0 термін розчинення гідроксидів заліза (III) зростає в 1,5 – 2,0 рази, однак це вимагає меншої витрати реагентів для

його наступної нейтралізації. Зважаючи на те, що реєстрація pH розчинів сьогодні не викликає технічних труднощів, підтримання необхідного pH варто доручити автоматизованій системі його вимірювання та дозування розчину кислоти.

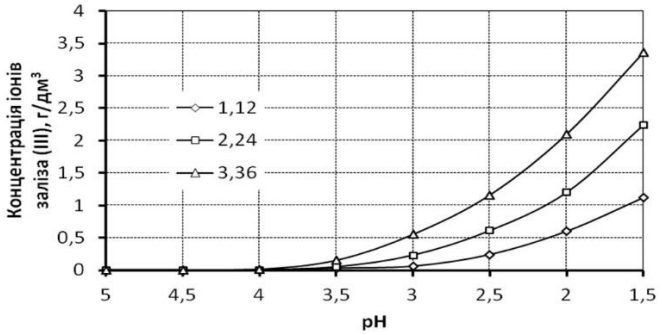

Рисунок 4 – Залежність концентрації іонів заліза (III) в розчині сірчаної кислоти від величини водневого показника при різних початкових концентраціях іонів заліза (г/дм3)

Відпрацьований розчини заліза найдоцільніше обробляти вапном. При цьому іони заліза (III) гідролізуватимуться в малорозчинний Fe(OH)3, а кальцій з сульфатами формуватимуть частки гіпсу:

$$Fe2(SO4)3 + 3Ca(OH)2 \rightarrow 2Fe(OH)3\downarrow + 3CaSO4\downarrow.$$

Відфільтрований маточний розчин із вмістом сульфату кальцію на рівні розчинності (2,0 г/дм3 [15]) використовується для приготування наступної дози регенераційного розчину шляхом дозування відповідної кількості сірчаної кислоти. Відфільтрована тверда фаза із суміші гідроксиду заліза та гіпсу при накопиченні достатньої кількості може бути використана в технологіях отримання будівельних матеріалів та конструкцій. Для встановлення мінімальної залишкової концентрації заліза в маточному розчині було проведено цикл дослідів і встановлено (рис. 5), що оптимальним можна вважати pH 4,0 – 4,5, при яких вміст іонів заліза знаходиться на рівні їх вмісту в питній воді.

Важливою є проблема розділення твердої та рідкої фаз. Зважаючи на об'єми суспензії, найбільш прийнятним можна вважати фільтрування. Відстоювання в даному випадку не дозволяє отримати завершений процес, та й відстоюється суспензія аж надто повільно. Наприклад, при концентрації іонів заліза в початковому розчині 5,6 г/дм3 та доведенні pH розчином гідроксиду натрію до 4,03 за 3 год освітлюється лише 5 см3 суспензії. Більш прийнятним виявилося фільтрування. В цьому випадку визначальним виявився водневий показник суспензії (рис. 6). При pH 2,6 маточний розчин фільтрується дуже швидко завдяки відсутності твердої фази, котра починає формуватися лише після pH>3. Однак, при таких pH утворюється желеподібний осад, що фактично перекриває пори фільтру і гальмує процес фільтрування. Найкращі результати отримані при pH = 4,5, коли частки гідроксиду повністю сформовані і добре віддають вологу. Так, якщо при pH = 4,03 за дві години відфільтровується рідкої фази в кількості лише 28 % від початкового об'єму суспензії, то при pH = 4,5 вже 89 %, причому, протягом 50 хв.

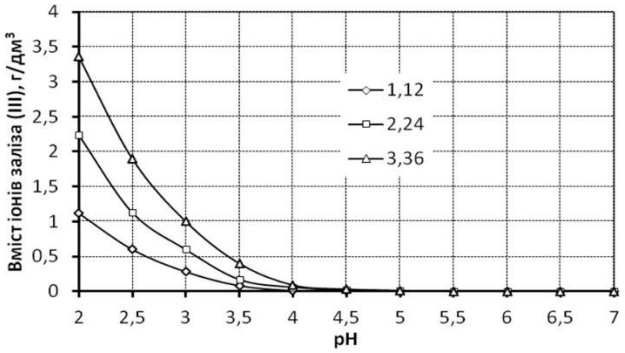

Рисунок. 5. – Залежність залишкових концентрацій іонів заліза (III) в освітленому розчині від величини водневого показника при різних початкових концентраціях іонів заліза (г/дм3)

Таким чином, проведений аналіз дозволяє стверджувати, що експлуатація побутово-офісних систем зворотного осмосу супроводжується значним негативним впливом на довкілля. Утворенням значної кількості специфічних твердих відходів сприяє збільшенню в довкіллі частинок мікропластику. Основними компонентами осадів на механічних фільтрах є сполуки заліза (III). Запропонована екологічно безпечна технологія регенерації поліпропіленових фільтрів етапу механічної очистки води систем зворотного осмосу. Технологія передбачає обробку використаних картриджів розчином сірчаної кислоти при pH 1,5 – 2,0 з наступною нейтралізацією отриманого розчину гідроксидом кальцію до pH 4,0 – 4,5 для формування в маточному розчині суміші гідроксиду заліза (III) та гіпсу. Тверда фаза відділяється від маточного розчину фільтруванням та використовується в промисловості будівельних матеріалів, а

фільтрат коригується кислотою та повторно використовується в технологічному процесі.

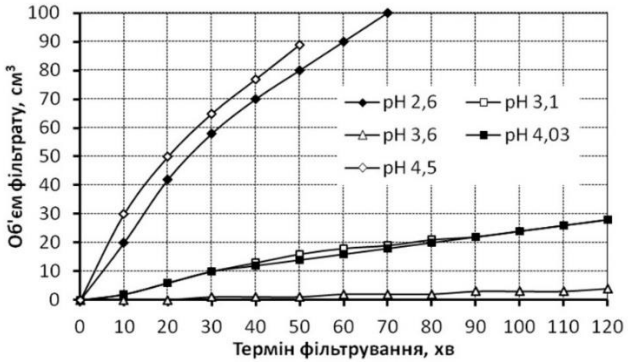

Рисунок. 6. – Швидкість фільтрування суспензій гідроксиду заліза (III), отриманих при різних значеннях pH (Сз = 5,6 г/дм3)

Висновки: Баромембранні системи очищення води залишаються на сьогодні найпопулярнішим і найбезпечнішим методом очищення води до вимог питної. Проте наявність відходів, які утворюються в результаті експлуатації таких систем, становлять значну шкоду довкіллю. Використані механічні фільтри першого ступеню очистки можуть підлягати регенерації і повторно використовуватися в установках зворотного осмосу. Вивчення особливостей використання таких картриджів показало, що при тривалій їх експлуатації чи при значній концентрації сполук заліза, на поверхні картриджа формується намивний шар із забруднень, котрий руйнується при видаленні картриджа з водного середовища. Таким чином, перший етап регенерації картриджа відбувається вже на етапі його демонтажу. Наступний етап доцільно проводити розчинами сірчаної кислоти. При цьому оксиди та гідроксиди заліза (III) переходять в розчин та звільняють пори картриджа.

Технологія регенерації передбачає використання розчину сульфатної кислоти. При підтриманні pH на рівні 1,5 весь осад із забруднених пор фільтра впродовж півгодини переходить в розчин кислоти. При цьому доцільно кислоту додавати по мірі росту pH. Відпрацьований розчини заліза найдоцільніше обробляти вапном із подальшим фільтруванням. Відфільтрований маточний розчин із вмістом сульфату кальцію на рівні розчинності (2,0 г/дм3 [15]) використовується для приготування наступної дози регенераційного розчину шляхом дозування відповідної кількості сірчаної кислоти. Відфільтрована тверда фаза із суміші гідроксиду заліза та гіпсу при накопиченні достатньої кількості може бути використана в технологіях отримання будівельних матеріалів та конструкцій.

Список використаної літератури

1. Забруднення річок України: причини та наслідки, 2019. [Електронний ресурс] – URL: https://ns-plus.com.ua/2019/07/10 .

2. Гіроль М. М., Гіроль А. М., Хомко В. Є., Ковальський Д. М., 2016. [Електронний ресурс] – URL: http://polypipe.info.

3. Радовенчик Я. В., Гомеля М. Д. Фізико-хімічні методи доочищення води: підручник. Київ : Кондор-Видавництво, 2016. 264 с.

4. Картридж поліпропіленовий ПП 10" 1 мкм. [Електронний ресурс] – URL: https://www.aqua-ua.com/ua/product/kartridzh-polipropilenovyy-pp-10-1-mkm/

5. Покращений комплект картриджів Ecosoft 1-2-3 для фільтрів зворотного осмосу (CHV3ECO). [Електронний ресурс] – URL: https://ecosoft.ua/ua/uluchshennyy-komplekt-kartridzhey-ecosoft-1-2-3-dlya-filtra-obratnogo-osmosa/

6. Комплект картриджів 1-2-3 Ecosoft для фільтрів зворотного осмосу. [Електронний ресурс] – URL: https://bt.rozetka.com.ua/dlya-sistem-obratnogo-osmosa/c196454/

7. Комплект картриджей Ecosoft CPV3ECOSTD. Характеристика. [Електронний ресурс] – URL: https://bt.rozetka.com.ua/ecosoft_dlya_filjtrov_obratnogo_osmosa_cpv3ecostd/p24577196/

8. Картридж зі спіненого поліпропілену Ecosoft 2,5"x10" 10 мкм. [Електронний ресурс] – URL: https://filterhome.com.ua/ua/p1081498458-kartridzh-spinenogo-polipropilenu.html

9. Покращений набір картриджів для зворотного осмосу Aqualite Premium. [Електронний ресурс] – URL: https://vodavdom.ua/ua/Product/2264

10. Картридж зі спіненого поліпропілену Ecosoft 4,5"x20" 20 мкм (CPV452020ECO). [Електронний ресурс] – URL: https://ecosoft.ua/ua/kartridzh-iz-vspenennogo-polipropilena-ecosoft-4-5-x20-20-mkm/

12. FilmTec Reverse Osmosis/Nanofiltration Membranes. [Електронний ресурс] – URL: https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/water-solutions/public/documents/en/RO-NF-FilmTec-Manual-45-D01504-en.pdf

13. Замовлення монтажу або обслуговування фільтра. [Електронний ресурс] – URL:

https://ecosoft.ua/ua/services/

14. Сервісне обслуговування зворотного осмосу. [Електронний ресурс] – URL: https://vencon.ua/ua/catalog/servis-obratnogo-osmosa

15. Гороновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. Краткий справочник по химии. Киев : Из-во АН УССР, 1962. 660 с.

Y. Radovenchyk[1], Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID ORCID 0000-0002-0101-0273
O. Ivanenko[1], Dr. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0001-6838-5400
M. Karpenko[1], Ph.D. student, ORCID 0000-0003-3237-4130
[1]**National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute**

REMOVAL OF IRON COMPOUNDS FROM MECHANICAL FILTERS HOUSEHOLD REVERSE OSMOTIC SYSTEMS WATER PURIFICATION

Today, the most convenient and widespread option for cleaning and purifying drinking water is to install reverse osmosis systems directly at the water intake points. However, the use of reverse osmosis systems has disadvantages associated with the frequent need to replace their elements. The article discusses the competitiveness of negative impact on the environment of reverse osmosis systems and ways to regenerate filters with the possibility of their reuse. Currently, there are no companies or organizations in Ukraine that would collect and dispose of such filters. This direction is undeveloped. There are practically no corresponding data in the scientific literature. If you take into account the fact that, according to our calculations, about 88,000 domestic reverse osmosis systems are in use today in Kyiv alone, it is easy to calculate that 176,000 polypropylene cartridges with a total volume of 105 m3 of polypropylene enter the environment during the year.

The article presents method of regeneration of mechanical filters from iron compounds and other harmful impurities deposited on the surface and pores of the filter during operation. Studies of the jet sulfuric acid as a cleaner have confirmed its effectiveness and sufficient safety for further processing of cleaning products as an additive to cement. To establish the minimum residual concentration of iron in the mother liquor, a cycle of experiments was conducted and it was established that pH 4.0-4.5 can be considered optimal, at which the content of iron ions is at the level of their content in drinking water. There was made an estimation of acid. Technologies of large-scale cleaning used filters can be beneficial and cost-effective..

The results of the experimental study make it possible to develop a treatment plant with an automated system for dosing acid and measuring acidity.

Keywords: *reverse osmosis, cartridge, mechanical filter, regeneration solution, neutralization, filtering, sulfuric acid.*

1. Pollution of rivers of Ukraine: causes and consequences, 2019. [Online]. Available: https://ns-plus.com.ua/2019/07/10.

2. M. M. Girol, A. M. Girol, V. E. Khomko, and D. M. Kovalskyi. 2016. [Online]. Available: http://polypipe.info.

3. Y.V. Radovenchik and M.D. Gomelya Physico-chemical methods of water purification: a textbook. Kyiv: Condor Publishing House, 2016. 264 p.

4. Cartridge polypropylene PP 10" [Online]. Available: https://www.aqua-ua.com/ua/product/kartridzh-polipropilenovyy-pp-10-1-mkm/

5. Improved set of Ecosoft 1-2-3 cartridges for reverse osmosis filters (CHV3ECO). [Online]. Available: https://ecosoft.ua/ua/uluchshennyy-komplekt-kartridzhey-ecosoft-1-2-3-dlya-filtra-obratnogo-osmosa/

6. Set of 1-2-3 Ecosoft cartridges for reverse osmosis filters. [Online]. Available: https://bt.rozetka.com.ua/dlya-sistem-obratnogo-osmosa/c196454/

7. Set of cartridges Ecosoft CPV3ECOSTD. Characteristic. [Online]. Available: https://bt.rozetka.com.ua/ecosoft_dlya_filjtrov_obratnogo_osmosa_cpv3ecostd/p24577196/

8. Ecosoft foamed polypropylene cartridge 2.5"x10" [Online]. Available: https://filterhome.com.ua/ua/p1081498458-kartridzh-spinenogo-polipropilenu.html

9. Improved set of cartridges for reverse osmosis Aqualite Premium. [Online]. Available: https://vodavdom.ua/ua/Product/2264

10. Ecosoft foamed polypropylene cartridge 4.5"x20" (CPV452020ECO). [Online]. Available: https://ecosoft.ua/ua/kartridzh-iz-vspenennogo-polipropilena-ecosoft-4-5-x20-20-mkm/

12. FilmTec Reverse Osmosis/Nanofiltration Membranes. [Online]. Available: https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/water-solutions/public/documents/en/RO-NF-FilmTec-Manual-45-D01504 -en.pdf

13. Ordering filter installation or maintenance[Online]. Available: https://ecosoft.ua/ua/services/

14. Reverse osmosis service. [Online]. Available: https://vencon.ua/ua/catalog/servis-obratnogo-osmosa

15. Goronovsky I. T., Nazarenko Yu. P., Nekryach E. F. Short reference book of chemistry. Kyiv: Institute of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1962. 660 p.

Надійшла: 6.02.2023
Received: 6.02.2023