

БЕЗВІДХОДНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ ВОД З ОТРИМАННЯМ КОАГУЛЯНТУ

У статті розглянуто та проаналізовано способи електрохімічного безвідходного очищення високомінералізованих вод. На думку експертів, у надзвичайно незадовільному стані перебувають майже всі річки України. Це особливо стосується малих річок. Така ситуація пояснюється не лише малою їх водністю, а й зовсім відсутньою їх охороною. Величезна забрудненість поверхневих водойм нашої держави пов'язана із промисловими скидами, що містять у собі важкі метали, радіонукліди, нітрати, фосфати, нафтопродукти тощо. Крім промислового забруднення значної шкоди якісному та кількісному стану поверхневих водойм завдає будівництво ГЕС та водосховищ, в результаті чого змінюється режим річок, зменшується водообмін, створюються застійні зони, що в реалії речей призводить до втрати здатності самоочищатися. Також слід зазначити, досить плачевний стан підземних водойм, звідки в основному відбувається забір води для споживання населенням у маленьких містах та селах. До підземних вод із звалищ потрапляють промислові та побутові відходи, також у разі буріння свердловин, при будівництві метро тощо. Величезний негативний вплив на стан підземних вод чинить діяльність сільського господарства, в наслідок чого спостерігається понаднормове забруднення вод пестицидами, нітратними, фосфатними, калійними добривами тощо. Тому питання очищення забруднених вод є надзвичайно актуальним питанням, тому що це несе в собі ситуацію із здоров'ям нації та людей в загалом. Особливо, сторона безвідходної технології очистки вод є важливою і також актуальною. Адже безвідходні технології – це величезний спектр можливостей у промисловості з високим рівнем прибутку, а головне, охороною навколишнього природного середовища. Безвідходні технології очистки забруднених водойм перетворює сам процес очистки у прибутковий процес, адже паралельно технологія дозволяє отримати цінний продукт, котрий можна використовувати у різних галузях народного господарства.

Електрохімічний метод очищення відбувається за рахунок перенесення іонів електроліту крізь селективні іонообмінні мембрани під дією різниці потенціалів. Під час нашого експериментального дослідження в лабораторних умовах, ми використовували дві іонообмінні мембрани, а саме, катіонообмінну – МК-40 та аніонообмінну – АВ-17-8. Катіонні мембрани містять негативно заряджені функціональні групи, протіонами яких є катіони. Вони пропускають катіони, а аніони відштовхуються і не проходять через них. Аніонні мембрани містять фіксовані функціональні групи позитивно заряджені, протіонами яких є аніони. Аніонні мембрани відштовхують і не пропускають катіони, а пропускають аніони. Також, в якості електродів використовували пластинку з нержавіючої сталі як катод та залізний анод, котрий в результаті проходження процесу розчинявся. Площа електродів складала $S_k = S_A = 0,12 \text{ дм}^2$. Силу струму тримали на рівні 1 А. В катодній області застосовували 0,05 Н розчин NaOH, в середній робочій області застосовували розчин NaCl, а в анодній області – підкислений розчин хлориду натрію. Запропонований метод електродіалізу, дозволяє отримати два цінних компоненти, що на сьогоднішній день підкреслює сучасність та безвідходність технології очистки, а саме – NaOH концентрований та FeCl_3 . Слід зазначити важливість отримання такого компоненту, як залізовмісний коагулянт FeCl_3 , котрий використовується на підготовчих стадіях очищення води для пиття і господарських потреб, а також у інших галузях промисловості для знезараження нечистот, при пігментації тканин та у процесах виготовлення фарбувальних речовин. На теренах України, FeCl_3 як і більшість реагентів для водопідготовки та водоочистки виготовляється та реалізується за підвищеною ціною, що робить нашу тему дослідження ще більше актуальною та економічно доцільною. В результаті проведення експерименту вдалося досягти 13-ти відсоткового розчину коагулянту FeCl_3 , що є хорошим показником.

Дана ідея та напрямок очистки води дозволяє впроваджувати безвідходні технології, що дає змогу вирішувати подвійне завдання охорони навколишнього природного середовища.

Ключові слова: електродіаліз, коагулянт, високомінералізовані, безвідходні технології, електролізер, катод, анод.

© Крижановська Я. П., Гомеля М. Д., Радовенчик Я. В., 2019

Постановка проблеми. Проблема очищеної природної води є актуальною для нашої країни. Дуже малий відсоток води є придатним для пиття, більшість джерел не відповідають жодним нормативам якості. Тому майже всю воду, котра забирається з поверхневих або підземних джерел необхідно очищати аби вона стала придатною для споживання населенням.

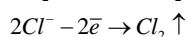
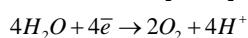
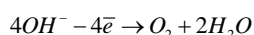
Аналіз попередніх досліджень. Слід зазначити, що в Україні існує величезна проблема з очищенням шахтних вод, котрі мають високий ступінь мінералізації [1].

Наразі, при демінералізації шахтних вод поряд з реагентними, баромембранними та іонообмінними методами, дедалі популярнішого застосування набувають електрохімічні методи [2,3]. Головною відмінністю та перевагою сучасного методу електродіалізу є не лише ефективне очищення забруднених мінералізованих вод, а і отримання корисних речовин в результаті реалізації процесу. Адже важливим завданням охорони навколишнього природного середовища є розробка безвідходних технологій, котрі при впровадженні передбачають не лише зменшення антропогенного навантаження на довкілля, а і отримання корисних чистих продуктів, котрі в подальшому можуть використовуватись в різних технологічних процесах [4].

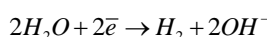
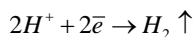
Загальною науковою проблемою є створення таких оптимальних технологій, при яких на виході буде отримана не лише очищена вода, а цінний і, головне, продукт з високим попитом. На сьогодні питання ефективного використання природних водних ресурсів зводяться до розробки безвідходних технологій [5].

Метод електродіалізу - це електрохімічний метод очищення води за рахунок перенесення іонів електроліту крізь селективні іонообмінні мембрани під дією різниці потенціалів [5]. При проведенні процесу електродіалізу аніони рухаються в сторону аноду, а катіони рухаються в сторону катоду, при цьому аніони можуть проникати лише через аніонні мембрани, а катіони – лише через катіонні мембрани. Обробка мінералізованих вод за допомогою електродіалізу дозволяє досягти знесолення води в зонах I, III та V. В зонах II і IV відбувається накопичення (концентрування) розчинів солей (рис. 1).

В результаті процесу електродіалізу NaCl на аноді будуть проходити такі процеси:



Відповідно на катоді будемо спостерігати такі основні процеси:



В анодній області за рахунок процесів окислення відбувається утворення кислоти, а в катодній за рахунок процесів відновлення відбувається утворення лугу. При змішуванні розчинів із катодної та анодної зони можна досягти їх нейтралізації. За відсутності мембран взагалі ефект очищення води буде нівелюватися за рахунок турбулентних потоків перемішування [5].

Невирішеною частиною наукової проблеми застосування електрохімічних методів є малий вихід корисного продукту при застосуванні безвідходного електродіалізного очищення забруднених вод. Враховуючи необхідність постійного використання електричного струму в процесі електродіалізу, невисокий вихід корисних сполук економічно стримує запровадження електрохімічних методів в широке застосування.

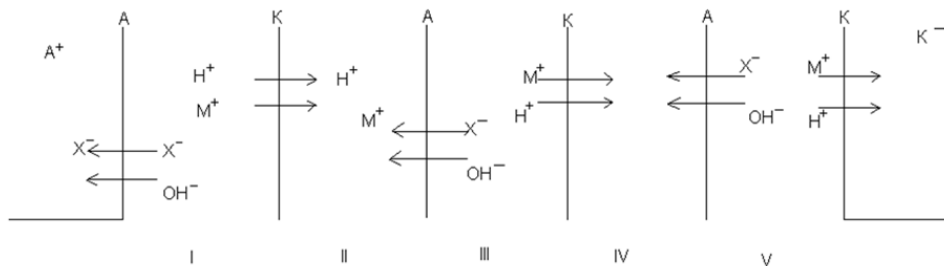


Рис. 1 – Схема електродіалізу

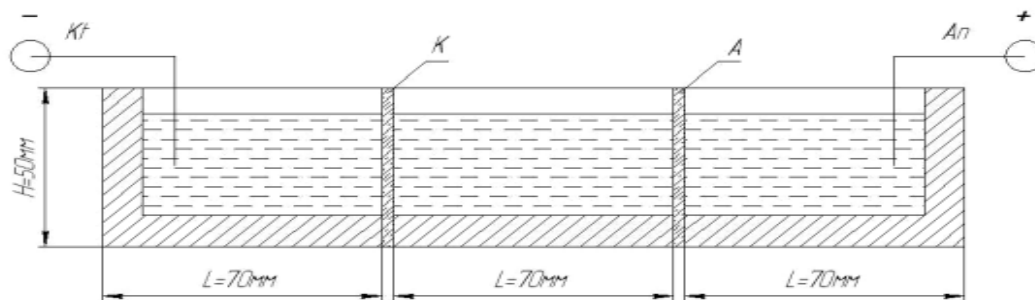
Метою роботи є створення безвідходних технологій очищення високомінералізованих вод з отриманням залізовмісного коагулянту, а саме FeCl₃. Отриманий коагулянт широко застосовується при очищенні та водопідготовці в Україні, що несе за собою економічно вигідне підгрунття.

Виклад основного матеріалу. Сучасний стан гідросфери в більшості країн світу з кожним роком викликає все більше занепокоєння, особливо серед фахівців у цій галузі. Україну це стосується також. Якщо більші частки забруднень відділяються від водного середовища досить просто процесами відстоювання та фільтрування, то розчинені сполуки можуть тривалий час перебувати у воді, проходити через найменші пори, отвори, не затримуватись фільтруючим матеріалом. Видалення розчинених забруднювачів в багатьох випадках є досить складним завданням [6].

Природні та стічні води піддаються попередній обробці з метою видалення забруднень. Сучасні технології очищення води використовують багато процесів (від фільтрування і до зворотнього осмосу) [7,8]. Але найбільш застосовуваним є все ж таки метод відстоювання, котрий досить детально вивчений. В промислових масштабах налагоджений випуск необхідного обладнання та устаткування. Тому важливим та актуальним напрямком наукових досліджень сьогодні є розробка допоміжних реагентів для інтенсифікації процесів відстоювання, а саме освітлення та зниження ступеню каламутності очищуваних вод [9].

Таким чином, безвідходні технології електрохімічного очищення забруднених водойм з отриманням залізовмісних коагулянтів є дуже актуальним і важливим напрямком.

Під час проведення наших досліджень процес електродіалізу здійснювали у трьохкамерному електролізері (рис.2).



Kt – катод із нержавіючої сталі; An – залізний анод; A – аніонообмінна мембрана МА-41, K – катіонообмінна мембрана МК-40

Рис. 2 – Трьохкамерний електролізер

В якості катоду використовували пластину з нержавіючої сталі, а в якості аноду – залізну пластину. Площа електродів складала $S_k=S_A=0,12 \text{ дм}^2$. Процес електролізу проводили при силі струму 1 А. Суть електродіалізного безвідходного очищення полягає в переміщенні іонів під дією сили струму в катодну та анодну області, що, в свою чергу, призводить до очищення води в середній області електролізера.

В катодну область вводили 0,05 Н розчин NaOH, в середню камеру – розчин NaCl, а в анодну область – підкислений розчин хлориду натрію (табл. 1).

За допомогою хлорного заліза можна домогтися ефективного очищення води і видалити з неї нерозчинні (практично повністю) і розчинні (близько 1/4 частини) домішки. Потрапляючи в воду, воно забезпечує реакцію гідролізу. В результаті вода очищається від органічних і неорганічних речовин.

В процесі проведення експериментального дослідження через однакові проміжки часу в катодній області визначали лужність, в середній області – визначали концентрацію хлорид-іонів та лужність. А в анодній області, в котрій відбувається розчинення залізного аноду – визначали концентрацію заліза фотометричним методом та рН. Періодично в катодній області розчин лугу замінювали на новий.

Перспектива застосування запропонованого методу полягає в тому, що при завершенні процесу електродіалізу отримуємо два цінних продукти – NaOH, котрий концентрується в катодній області та FeCl_3 – відомий та широко використовуваний коагулянт а анодній області.

Завдяки можливості забезпечення процесу коагуляції (осадження домішок) оксид заліза використовується:

- на підготовчих стадіях очищення води для пиття і господарських потреб;
- в процесі виготовлення фарбувальних речовин;
- при пігментації тканин;
- в процесі знезараження нечистот.

Висновки. В результаті проведення експериментальних дослідження процесу електродіалізу було досліджено закономірності отримання хлориду заліза (III) та концентрування NaOH з високо мінералізованих модельних розчинів.

Показано, що за 12 годин проведення експерименту можна отримати розчин коагулянту з концентрацією $\text{Fe}^{3+} 45 \text{ г/дм}^3$, що відповідає тринадцяти відсотковому розчину FeCl_3 . Аналізуючи отриманий результат можна стверджувати, що це достатньо ефективний вихід корисних продуктів при об'ємі ячейки 100 см^3 та силі струму не більше 1 А. При застосуванні даної технології очистки води реалізується безвідходна схема, яка є безпечною для природного середовища.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень процесу електродіалізу

№ п/п	t, хв	I область		II область		III область			I, А	U, В
		Лужність, мг-екв/дм ³	Лужність, мг-екв/дм ³	Cl, мг-екв/дм ³	Cl, мг/дм ³	Fe, мг/дм ³	Fe ³⁺ , мг-екв/дм ³	pH		
0	0	52	0,73	3400	120700	---	---	1	0	0
1	60	300	60	3000	106500	8100	435,48	2,08	1	15
2	120	1150	75	2250	79875	14800	795,6	2	1	10
3	180	1500	150	1700	60350	16750	900	2	1	10

4	240	310	225	1566,6	55616,6	20000	1075,26	0,79	1	10
5	300	850	250	1225	43487,5	21500	1155,9	0,7	1	10
6	360	1000	180	525	18637,5	24000	1290,3	1	1	10
7	420	700	70	200	7100	30800	1655,9	1,4	1	50
8	480	800	25	7	248,5	34000	1827,95	0,836	1	50
0	0	53	0,73	3400	120700	34000	1827,95	0,836	0	0
9	60	700	50	3200	113600	35000	1881,72	2	1	15
10	120	1175	75	2300	81650	39000	2096,77	1,7	1	10
11	180	250	130	1833	65083	42000	2258	1,55	1	10
12	240	1150	155	1475	52362,5	45000	2419,3	0,633	1	10

Перспективи подальших досліджень

В подальшому авторами планується досліджувати очищення високомінералізованих вод з отриманням чистого коагулянту більшої концентрації (більше 13 %), розробка електролізерів для реалізації довготривалого безперервного процесу електролізу.

Список використаної літератури:

1. Trus, I.M., Oprisnennja shahtnih vod z visokoju zhorstkistju pri vikoristanni elektrodializu / I. M. Trus, I. M. Makarenko, T. O. Shabl'ij // Visnik Chernigivs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. – 2014. №2 - S. 49-54.
2. Pisarska B. Analiz uslovij poluchenija H₂SO₄ i NaOH iz rastvorov sul'fata natrija metodom jelektrodializa / B. Pisarska, R. Dilevski // Zhurnal prikladnoj himii. – 2005. –T. 78, № 8. – S. 1311–1316.
3. Shabl'ij T. O. Elektrohimična pererobka vidprac'ovanih rozchiniv, shho utvorjujut'sja pri regeneracii kationitiv / T. O. Shabl'ij, M. D. Gomel'ja, C. M. Panov // Jekologija i promyslennost'. – 2010. – № 2. – S. 33–38.
4. Petrushka I. M., Bezvidhodni tehnologii promislovogo ochishhennja stichnih vod vid bagatokomponentnih organichnih sumishej / I. M. Petrushka, O. V. Stokaljuk, O. G. Chajka // Nacional'nij universitet "L'vivs'ka politehnika". – 2007.
5. Krizhanovs'ka Ja. P. Otrimannja FeCl₃ pri elektrohimičnomu ochishhenni vodi / Ja. P. Krizhanovs'ka, A. K. Vakulenko, Ja. V. Radovenchik // IV Mizhnarodna naukovo-praktična konferencija «SUCHASNA NAUKA: PROBLEMI I PERSPEKTIVI» chastina I, m. Kiïv (6-7 zhovtnja), s. 23-25.
6. Radovenchik V.M. Ocinka efektivnosti aljuminijmiskih koagulantiv v procesah osvittlenja prirodnih vod / V.M. Radovenchik, S.V. Glinjana, Ja.V. Radovenchik, N.V. Kalinichenko // Shidno-Cvroejs'kij zhurnal peredovih tehnologij, 2014. - №2. – S. 17-20
7. Vasil'eva E. S. Koagulyanty v processah vodoochistki [Tekst] / E. S. Vasil'eva, I. I. Volkova, N. A. Timasheva // Uspehi v himii i himicheskoj tehnologii. – 2005. – T. 19, № 6. – S. 10–11.
8. Radovenchik Ja. V. Osvittlenja prirodnih vod z vikoristannjam flokuljantiv [Tekst] / Ja. V. Radovenchik, A. O. Kosticja, V. M. Radovenchik // Shidno – Cvroejs'kij zhurnal peredovih tehnologij. – 2013. – T. 4, № 6 (64). – S. 23–26.
9. Bousely, J. Applying chemical reagents in water production [Text] / J. Bousely, C. Losada, Ph. Zydowisz // Eau. Ind. Nuisances. – 2001. – № 256. – S. 45–49.
10. Grabitchenko V. M. Kompleksna pererobka visokominalizovanih stokiv v ekologično bezpechnomu promislovomu vodospozhivanni : avtoref. dis. kand. tehn. nauk : 21.06.01 – ekologična bezpeka / Grabitchenko Valentina Mikolaïvna. – Kiïv, 2017. – 23 s.

Надійшла до редакції 11.12.2018

Kryzhanovskaya Ya. P., Homelia M. D., Radovenchik Ya. V.

INSUFFICIENT CLEANING TECHNOLOGY HIGH-MILLED WITH RECEIVING KOAGULIANT

The article considers and analyzes the methods of electrochemical non-waste cleaning of highly mineralized waters. According to experts, almost all the rivers of Ukraine are in an extremely unsatisfactory condition. This is especially true for small rivers. This situation is explained not only by their small wateriness, but also by their lack of protection. The huge pollution of the surface water of our state is connected with industrial discharges containing heavy metals,

radionuclides, nitrates, phosphates, petroleum products, etc. In addition to industrial pollution, significant damage to the quality and quantity of surface water bodies causes the construction of hydroelectric power stations and reservoirs, resulting in a change in the regime of rivers, decreases in water exchange, stagnant zones are created, which in the end leads to loss of self-cleaning capacity. It should also be noted that the ponding state of underground water bodies is rather cryogenic, where the main source of water is collected for consumption by the population in small towns and villages. Underground water from landfills includes industrial and domestic waste, also in the case of drilling, at the construction of the metro, etc. A huge negative impact on the state of groundwater affects agriculture, resulting in excessive pollution of water with pesticides, nitrates, phosphates, potash fertilizers, etc. Therefore, the issue of cleaning up contaminated waters is a very topical issue, because it carries the situation with the health of the nation and people in general. Particularly, the side of the waste-free water treatment technology is important and also relevant. Indeed, waste-free technologies are a huge range of opportunities in a high-profit industry, and most importantly, environmental protection. Non-waste technologies for cleaning of contaminated reservoirs turn the process of cleaning into a profitable process, because in parallel the technology allows obtaining a valuable product, which can be used in various branches of the national economy.

The electrochemical purification method is due to the transfer of electrolyte ions through selective ion exchange membranes under the influence of the potential difference. During our experimental study in laboratory conditions, we used two ion exchange membranes, namely, cation exchange - MK-40 and anion exchange - AB-17-8. Cationic membranes contain negatively charged functional groups with cations counterions. They miss cations, and anions repel and do not pass through them. Anionic membranes label fixed functional groups positively charged, with counterions of which are anions. Anionic membranes repel and do not allow cations, but pass anions. Also, electrodes used a plate of stainless steel as a cathode and an iron anode, which as a result of the process was dissolved. The area of the electrodes was $S_k = S_A = 0,12 \text{ dm}^2$. The current strength was kept at 1 A. In the cathode region was used a 0.05 N solution of NaOH, in the middle working area was used a NaCl solution, and in the anode region was used an acidified solution of sodium chloride. The proposed method of electro dialysis, allows you to get two valuable components, which today emphasizes the current and no waste of the technology of purification, namely - NaOH concentrated and FeCl₃. It should be noted the importance of obtaining such a component as a ferritic coagulant FeCl₃, which is used in the preparatory stages of drinking water purification and economic needs, as well as in other industries for decontamination of impurities, with pigmentation of tissues and in the processes of manufacturing of coloring agents. In Ukraine, FeCl₃, like most reagents for water treatment and water treatment, is manufactured and sold at an elevated price, which makes our research topic even more relevant and economically feasible.

As a result of the experiment, it was possible to achieve a 13 percent solution of FeCl₃ coagulant, which is a good indicator. This idea and direction of water purification allows us to implement waste-free technologies, which allows to solve a double task of environmental protection.

Key words: electro dialysis, coagulant, highly mineralized, non-waste technologies, electrolyzer, cathode, anode.

References:

1. Trus, I.M., Oprisnennja shahtnih vod z visokuju zhorstkistju pri vikoristanni elektrodializu / I. M. Trus, I. M. Makarenko, T. O. Shabl'ij // Visnik Chernigivs'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. – 2014. №2 - S. 49-54.
 2. Pisarska B. Analiz uslovij poluchenija H₂SO₄ i NaOH iz rastvorov sul'fata natrija metodom jelektrodializa / B. Pisarska, R. Dilevski // Zhurnal prikladnoj himii. – 2005. –T. 78, № 8. – S. 1311–1316.
 3. Shabl'ij T. O. Elektrohimična pererobka vidprac'ovanih rozchiniv, shho utvorjujut'sja pri regeneracii kationitiv / T. O. Shabl'ij, M. D. Gomel'ja, E. M. Panov // Jekologija i promyshlennost'. – 2010. – № 2. – S. 33–38.
 4. Petrushka I. M., Bezvidhodni tehnologii promislavogo ochishhennja stichnih vod vid bagatokomponentnih organichnih sumishej / I. M. Petrushka, O. V. Stokaljuk, O. G. Chajka // Nacional'nij universitet "L'vivs'ka politehnika". – 2007.
 5. Krizhanovs'ka Ja. P. Otrimannja FeCl₃ pri elektrohimičnomu ochishhenni vodi / Ja. P. Krizhanovs'ka, A. K. Vakulenko, Ja. V. Radovenchik // IV Mizhnarodna naukovo-praktična konferencija «SUCHASNA NAUKA: PROBLEMI I PERSPEKTIVI» chastina I, m. Kiiv (6-7 zhovtnja), s. 23-25.
 6. Radovenchik V.M. Ocinka efektivnosti aljuminijmiskih koagulantiv v procesah osviltlennja prirodnih vod / V.M. Radovenchik, S.V. Glinjana, Ja.V. Radovenchik, N.V. Kalinichenko // Shidno-Єvrops'kij zhurnal peredovih tehnologij, 2014. - №2. – S. 17-20
 7. Vasil'eva E. S. Koagulyanty v processah vodoochistki [Tekst] / E. S. Vasil'eva, I. I. Volkova, N. A. Timasheva // Uspehi v himii i himičeskoj tehnologii. – 2005. – T. 19, № 6. – S. 10–11.
 8. Radovenchik Ja. V. Osviltlennja prirodnih vod z vikoristannjam flokuljantiv [Tekst] / Ja. V. Radovenchik, A. O. Kostic'ja, V. M. Radovenchik // Shidno – Єvrops'kij zhurnal peredovih tehnologij. – 2013. – T. 4, № 6 (64). – S. 23–26.
 9. Bousely, J. Applying chemical reagents in water production [Text] / J. Bousely, C. Losada, Ph. Zydowisz // Eau. Ind. Nuisances. – 2001. – № 256. – S. 45–49.
- Grabitchenko V. M. Kompleksna pererobka visokomineralizovanih stokiv v ekologično bezpechnomu promislavomu vodospozhivanni : avtoref. dis. kand. tehn. nauk : 21.06.01 – ekologična bezpeka / Grabitchenko Valentina Mikolaivna. – Kiiv, 2017. – 23 s.