

the development of the industry, but also has an impact on the economic situation. Soil fertility has declined markedly due to irrational land use, erosion, dehumidification, soil mineralization and environmental contamination.

The main advantage of this fertilizer is the higher efficiency of plant nutrition compared to traditional fertilizers, due to the release of useful components over a longer period. Slow down selection of useful components (prolonged action) is ensured by the layered structure of the granule and the uniform placement of useful components throughout the volume of granules OMF of a new generation during its moisture in the soil. Obtaining of this structure of the granule is possible with the application of a fluidized bed granulator. The use of waste from agricultural, food and chemical industries, as raw material for the production of new granular organic-mineral fertilizers of prolonged action, will solve the problems of reducing fertility of soils, preserving resources and the environment.

There is a need for the creation and improvement of existing technology and equipment for the production of layered compositional organic-mineral fertilizers containing ammonium sulphate, humic substances, deoxidizing compounds and other useful components, the composition and correlation of which is determined by the agro-climatic conditions of cultivation. Application of a deoxidizing component, such as lime in organic-mineral fertilizers, will reduce the acidity of the soil and reduce the amount of separate application of lime.

#### **References**

1. Land Fund of Ukraine as of January 1, 2016, available at: <http://land.gov.ua/info/zemelnyi-fond-ukrainy-stantom-na-1-sichnia-2016-roku-ta-dinamika-ioho-zmin-u-porivnianni-z-danymy-na-1-sichnia-2015-roku> / (application date 01.02.19).
2. “Commodity structure of foreign trade of Ukraine in 2018”, available at: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/zd/tszt/tszt\\_u/tszt0718\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/zd/tszt/tszt_u/tszt0718_u.htm) (application date 20.03.19).
3. Kornienko Y. M. and Stepaniuk A. R. (2008) “Creation of humic and mineral fertilizers for ecological balance”, *Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation*, No. 2, pp. 48 - 52.
4. Khodakivska O.V., Korchynska S.G and Matvienko A.P. (2017) “Economic problems of reproduction of soil fertility”, *Bulletin of Agrarian Science*, No. 12, pp. 71 - 75.
5. Gavrilyuk V.A. and Demchuk S. M. (2013) “Organo-mineral fertilizers - complex solution of the use of raw materials”, *Agroecological journal*, vol. 4 No. 1, pp. 78–81.
6. “PlantFeed – Mineral and organic fertilizer”, available at: <http://plantfeed.biz/uk/> (Accessed 20.03.19).
7. Kornienko Y.M., Hayday S.S., Liubeka A.M. and Martyniuk O.V. (2016), “Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator”, *Ukrainian Food Journal*, Vol 5, no 1, pp. 144 – 154.
8. “Fertilizers of controlled and prolonged action”, available at: <http://infoindustria.com.ua/udobreniya-kontroliruemogo-i-prolongirovannogo-deystviya/> (Accessed 20.03.19).

---

УДК 628.16(08)

**КРИЖАНОВСЬКА Я. П., асп.; ГОМЕЛЯ М. Д., д.т.н., проф.; РАДОВЕНЧИК Я. В., к.т.н., ст. викл.  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

## **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 якiсному та кількісному стану поверхневих водойм завдає будівництво ГЕС та водосховищ, в результаті чого змінюється режим річок, зменшується водообмін, створюються застійні зони, що в решті решт призводить до втрати здатності самоочищатися. Також слід зазначити, досить плачівний 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 водою 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, протиіонами яких є катіони. Вони пропускають катіони, а аніони відштовхуються і не проходять через них. Аніонні мембрани містять фіксовані функціональні групи позитивно заряджені, протиіонами 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  $\text{FeCl}_3$ . Слід зазначити важливість отримання такого компоненту, як залізовмісний коагулянт  $\text{FeCl}_3$ , 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,  $\text{FeCl}_3$  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  $\text{FeCl}_3$ , 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.

**DOI:** 10.20535/2617-9741.1.2019.171047

© 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.

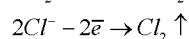
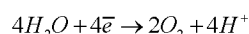
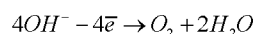
**Аналіз попередніх досліджень.** Слід зазначити, що в Україні існує величезна проблема з очищенням шахтних вод, котрі мають високий ступінь мінералізації [1].

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].

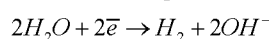
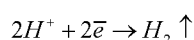
Загальною науковою проблемою є створення таких оптимальних технологій, при яких на виході буде отримана не лише очищена вода, а цінний і, головне, продукт з високим попитом. На сьогодні питання ефективного використання природних водних ресурсів зводяться до розробки безвідходних технологій [5].

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:

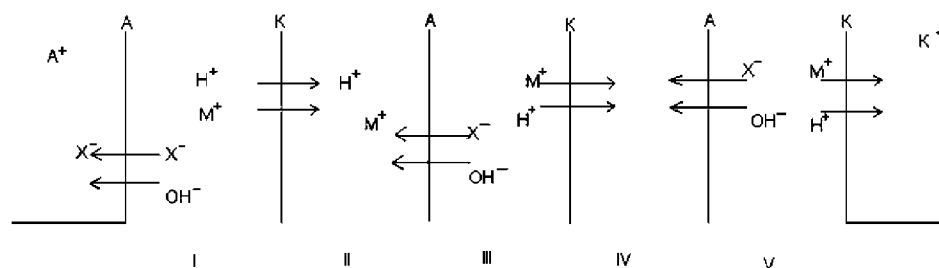


Відповідно на катоді будемо спостерігати такі основні процеси:



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 FeCl<sub>3</sub>. Отриманий коагулянт широко застосовується при очищенні та водопідготовці в Україні, що несе за собою економічно вигідне підґрунтя.

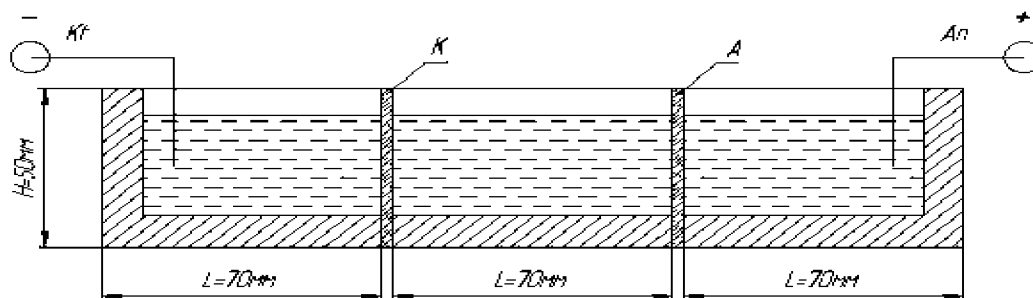
**Виклад основного матеріалу.** Сучасний стан гідросфери в більшості країн світу з кожним роком викликає все більше занепокоєння, особливо серед фахівців у цій галузі. Україну це стосується також. Якщо більші частки забруднень відділяються від водного середовища досить просто процесами відстоювання та 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 сьогодення 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 вод з отриманням залізовмісних коагулянтів є дуже актуальним і важливим напрямком.

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



*Кт – катод із нержавіючої сталі; Ан – залізний анод; А – аніонообмінна мембрана МА-41,  
К – 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 електродіалізу 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  $\text{FeCl}_3$  – 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  $\text{FeCl}_3$ . Аналізуючи отриманий результат можна стверджувати, що це достатньо ефективний вихід корисних продуктів при об'ємі ячейки  $100 \text{ см}^3$  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, A	U, B
		Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup>	СГ, мг-екв/дм <sup>3</sup>	СГ, мг/дм <sup>3</sup>	Fe, мг/дм <sup>3</sup>	Fe <sup>3+</sup> , мг-екв/дм <sup>3</sup>	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 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i NaOH iz rastvorov sul'fata natrija metodom jelektrodializa / B. Pisarska, R. Dilevski // Zhurnal prikladnoj himii. – 2005. –Т. 78, № 8. – S. 1311–1316.
3. Shabl'ij T. O. Elektrohimična pererobka vidprac'ovanih rozchiniv, shho utvorjуют'sja pri regeneracii kationitiv / T. O. Shabl'ij, M. D. Gomelja, Є. M. Panov // Jekologija i promyshlennost'. – 2010. – № 2. – S. 33–38.
4. Petrushka I. M., Bezvidhodni tehnologii promisl'ovogo 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. Otrimmannja FeCl<sub>3</sub> pri elektrohimičnomu ochishhenni vodi / Ja. P. Krizhanovs'ka, A. K. Vakulenko, Ja. V. Radovenchik // IV Mizhnarodna naukoivo-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 osvitlenja prirodnih vod / V.M. Radovenchik, S.V. Glinjana, Ja.V. Radovenchik, N.V. Kalinichenko // Shidno-Єvropejs'kij zhurnalпередovih tehnologij, 2014. - №2. – S. 17-20
7. Vasil'eva E. S. Koagulyanty v processah vodoочистки [Tekst] / E. S. Vasil'eva, I. I. Volkova, N. A. Timasheva // Uspehi v himii i himicheskoi tehnologii. – 2005. – T. 19, № 6. – S. 10–11.
8. Radovenchik Ja. V. Osvitlenja prirodnih vod z vikoristannjam flokuljantiv [Tekst] / Ja. V. Radovenchik, A. O. Kosticija, V. M. Radovenchik // Shidno – Єvropejs'kij zhurnal передovih 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 visokomineralizovanih stokiv v ekologichno bezpechnomu promislovomu vodospozhyvanni : avtoref. dis. kand. tehn. nauk : 21.06.01 – ekologichna bezpeka / Grabitchenko Valentina Mikolaivna. – Kiiv, 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  $S_k = S_A = 0,12 \text{ dm}^3$ . 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 electrodialysis, allows you to get two valuable components, which today emphasizes the current and no waste of the technology of purification, namely - NaOH concentrated and FeCl<sub>3</sub>. It should be noted the importance of obtaining such a component as a ferritic coagulant FeCl<sub>3</sub>, 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, FeCl<sub>3</sub>, 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 FeCl<sub>3</sub> 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:** *electrodialysis, coagulant, highly mineralized, non-waste technologies, electrolyzer, cathode, anode.*

**References:**

1. Trus, I.M., Oprisnennja shahntnih vod z visokoju zhorstkistju pri vikoristanni elektrodializu / I. M. Trus, I. M. Makarenko, T. O. Shabl'ij // Visnik Chernigiv'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. – 2014. №2 - S. 49-54.
2. Pisarska B. Analiz uslovij poluchenija H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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 rozchinniv, shho utvorjujut'sja pri regeneracii kationitiv / T. O. Shabl'ij, M. D. Gomel'ja, Є. 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'viv's'ka politehnika". – 2007.
5. Krizhanov's'ka Ja. P. Otrimannja FeCl<sub>3</sub> pri elektrohimičnomu ochishhenni vodi / Ja. P. Krizhanov's'ka, A. K. Vakulenko, Ja. V. Radovenchik // IV Mizhnarodna naukovopraktična 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 osvittlennja 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. Osvittlennja prirodnih vod z vikoristannjam flokuljantiv [Tekst] / Ja. V. Radovenchik, A. O. Kostričja, 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.
10. Grabitchenko V. M. Kompleksna pererobka visokomineralizovanih stokiv v ekologično bezpečnomu promislavomu vodospozhivanni : avtoref. dis. kand. tehn. nauk : 21.06.01 – ekologična bezpeka / Grabitchenko Valentina Mikolaivna. – Kiiv, 2017. – 23 s.

---

УДК 504.05

**КУПРІЯНЧУК С. В., асп., м.н.с.<sup>1,2</sup>; МЕНЬШЕНІН Є. А., пров. інж.<sup>2</sup>; ШАБЛІЙ Т. О., д.т.н., проф.<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<sup>2</sup> Інститут проблем безпеки АЕС Національної академії наук України

## **АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЗБІДНЕНОГО УРАНУ ЯК ЗАХИСНОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ ПОВОДЖЕННІ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ**

*Проведений аналіз використання збідненого урану в якості захисного матеріалу контейнерів для зберігання високоактивних відходів. За своїми захисними властивостями він перевершує всі відомі матеріали, що застосовуються при захисті від іонізуючого випромінювання. В рамках роботи проаналізовано можливість удосконалення контейнеру, що застосовуються на ЧАЕС для зберігання ВАВ, КТЗВ-0,2. Розроблені моделі та проведені розрахунки при можливому додаванні збідненого урану в композит бетону, а також розглянуто можливість використання, замість свинцю, сегментів зі збідненого урану в контейнерах з додаванням додаткового захисного шару.*

**Ключові слова:** *збіднений уран; радіоактивні відходи; контейнер; захисні властивості; потужність дози.*