

УДК 628.165

ГОМЕЛЯ М. Д., КРИЖАНОВСЬКА Я. П.*
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КОНЦЕНТРУВАННЯ РОЗЧИНІВ ХЛОРИДУ НАТРІЮ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ КОНЦЕНТРАТІВ ЗВОРОТНЬООСМОТИЧНОГО ОПРИСНЕННЯ ВОДИ

В роботі досліджено процеси концентрування розчинів хлориду натрію методом електродіалізу. Суть процесу полягає у використанні розчинів хлориду натрію, що утворюється при знесоленні води зворотнім осмосом у вигляді концентратів. Процес концентрування реалізовували у трикамерному електролізері, в катодній, анодній та робочій областях було розміщено розчин хлориду натрію, концентрацією 360 ммоль/дм³. В анодній області було використано розчин луку концентрацією 480 мг-екв/дм³. При проведенні електролізу в катодній області утворювався луг, за рахунок дифузії натрію у робочій області та катодного відновлення води. Хлориди із робочої області переходили в анодну область. Гідроксид-аніони на аноді окислювались до кисню, хлориди з натрієм утворювали хлористий натрій, концентрація якого зростала до 660 мг-екв/дм³. Лужність знижувалась до 68-70 мг-екв/дм³. При зміні катодів і анодів місяцями процес повторювали до підвищення лужності в катодній зоні та концентрації хлоридів в анодній зоні. В робочу зону, де відбувалось знесолення води, додавали розчин хлориду натрію, концентрацією 360 ммоль/дм³. Після дев'яти циклів електролізу отримували розчин хлориду натрію з концентрацією 100-150 г/дм³. Залишковий вміст хлориду натрію у знесоленій воді сягав 50-100 мг/дм³. Для концентрування можна використовувати розчини хлориду натрію з концентрацією від 4 до 30 г/дм³.

Ключові слова: зворотній осмос, концентрат, знесолення, електродіаліз, анодна густина струму, вихід за струмом

DOI: 10.20535/2617-9741.3.2023.288253

* Corresponding author: yanamart93@ukr.net

Received 12 July 2023; Accepted 14 September 2023

Постановка проблеми. На сьогоднішній день в Україні гостро стоїть проблема підвищення мінералізації поверхневих вод у всіх промислово-розвинутих областях нашої країни. Причин багато і, насамперед, така картина склалась внаслідок постійних скидів засолених стоків із промислових підприємств, а також шахт. Можна вважати, що дана ситуація склалась внаслідок відсутності ефективних, енергетично- та економічно- вигідних, доступних технологій знесолення вод. Факторів впливу на формування роками даної ситуації є чимало. Це і відсутність відповідного фінансування, і відсутність належної екологічної перевірки при скиді стічних вод, і, нажаль, корупційні складові. Ситуація ускладнюється тим, що всі добре відомі та широко використовувані методи демінералізації води, а саме – електроліз, зворотній осмос, іонний обмін, дистиляція, нанофільтрування – супроводжуються утворенням великої кількості концентратів та регенераційних розчинів. На сьогодні відсутні ефективні технології переробки даних відходів. Останні попросту скидаються у водойми, або у шламовсховища, що в свою чергу абсолютно нівелює попереднє очищення, а, навпаки, створює потенційну екологічну загрозу. Складніше вирішувати проблему з новоутвореними елюатами після очищення води, що містять в своєму складі кислоти, луги, хлорид натрію. Тому, одним із перспективних напрямків боротьби із накопиченням концентрованих розчинів солей, що є відходами при процесах підготовки та очищення води, є їх переробка із отриманням корисних продуктів. Для утилізації розчинів хлориду натрію доцільно застосовувати технології отримання гіпохлориту натрію, який є дефіцитним реагентом не лише в Україні.

Аналіз попередніх досліджень. Утилізація сольових відходів є досить складною проблемою. Повне зневоднення даних розчинів не вирішує проблему, тому що захоронення твердих відходів хлориду натрію або сульфату натрію вимагає створення герметичних надійних сховищ, що є економічно недоцільним, особливо, якщо враховувати енергозатрати по зневодненню даних елюатів.

Найбільш вигідним методом є отримання з даних відходів корисних продуктів. Найбільш перспективним для реалізації даного підходу є застосування процесів електродіалізу. Враховуючи дефіцит реагентів, їх

високі ціни, даний метод можна реалізувати для отримання кислоти і лугу з розчинів сульфату натрію [1,2], лугу [3], алюмінієвих [4] та залізних [5] коагулянтів.

Однією із гострих проблем для України є дефіцит активного хлору, гіпохлориту та хлорату натрію. Особливо проблема загострилась після ліквідації в 90-тих роках заводу «Радикал» (раніше, Київський завод хімікатів), який забезпечував активним хлором, продуктами його переробки не лише Україну, але і ряд країн Європи і світу. Тому важливими є результати, приведені в роботі [6] по отриманню окислених сполук хлору з концентратів зворотньоосмотичного опріснення води. Проте, із результатів роботи видно, що при використанні концентратів із концентрацією хлориду натрію 4-30 г/дм³ (0,4-3%) отримано розчини окислених сполук хлору таких же низьких концентрацій. У промисловості виробляють розчини гіпохлориту натрію концентрацією 12-18 %. Однією із головних умов отримання якісного продукту розчину гіпохлориту натрію є використання нейтрального концентрованого розчину хлориду натрію ($C_{\text{NaCl}}=100-200$ г/л). Частіше за все для концентрування розчинів солей використовують випарні установки [7], які характеризуються значним енергоспоживанням. Дещо менше енергоспоживання при виморожуванні розчинів [8,9]. Проте дані методи вимагають складного обладнання та великих енергозатрат. Більш дешевим є метод мембранної дистиляції [10]. Слід зауважити, що останній метод характеризується низькою продуктивністю. Кращим є використання електролізу [11]. Особливо, якщо врахувати високі показники, отримані при концентруванні хлориду натрію електродіалізом [12].

Метою статті є визначення умов електрохімічної переробки розчинів хлориду натрію шляхом їх концентрування без використання лугу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Визначити умови видалення хлориду натрію із води в трикамерному електролізері з утворенням лугу в катодній області та концентрування хлоридів в анодній області.
2. Оцінити можливості концентрування хлориду натрію в анодній області за умови створення лужного середовища перед електролізом.
3. Визначити вплив концентрації хлоридів у катодній і анодній області трикамерного електролізера на утворення лугу в катодній області та концентрування хлоридів в анодній області.

Методика роботи. В роботі застосовували трикамерні електролізери, в яких використовували катіонообмінну мембрану МК-40, аніонообмінну мембрану МА-41. Об'єм анодної, катодної та робочої камери-100 см³. Площа катоду дорівнювала 0,12 дм³. Катод-легована сталь 12×18Н10Т, анод-титан, покритий оксидом рутенію. Для електролізу використовували джерело постійного струму. На початку процесу використовували розчин хлориду натрію концентрацією 21060 мг/дм³ (360 ммоль/дм³). В анодній камері, крім NaCl концентрацією 360 ммоль/дм³, було лужне середовище ($J=188$ мг-екв/дм³). Лужність в катодній камері сягала 2,5 мг-екв/дм³. Сила струму – 0,5 А. Анодні густина струму – 4,17 А/дм². Через рівні проміжки часу (60 хв) вимірювали лужність та концентрацію хлоридів в усіх камерах. Через 5 годин процес завершили, після зниження лужності в анодній області до 18 мг-екв/дм³.

Після цього перемістити катод в анодну область, а анод- в катодну. Знесолону воду в робочій камері замінили на розчин NaCl і електроліз повторили. Процес повторювали до досягнення концентрації хлористого натрію в католіті значень, вищих 100 г/дм³. В аноліті концентрація хлориду натрію була іще вищою. Вихід речовини за струмом розраховували як в роботах [4].

Виклад основного матеріалу. Застосування електролізера для переробки розчинів хлориду натрію, що утворюються при зворотньоосмотичному знесоленні води є досить перспективним методом [6]. Так, при використанні концентратів із вмістом хлориду натрію 6,6 г/дм³ ($C_{\text{Cl}_2}=112,6$ мг-екв/дм³) було отримано розчин, який містив 188 мг-екв/дм³ активного хлору. В перерахунку на NaClO – 7,0 г/дм³. Вихід за струмом гіпохлориту натрію досягав 60 %. При підвищенні концентрації хлориду до 20-30 г-екв/дм³ концентрація розчину гіпохлориту натрію зростає до 2-3 %, але є досить низькою. У промисловості використовують розчини гіпохлориту натрію концентрацією 12-18 %. Для їх отримання необхідно використовувати розчини NaCl з концентрацією ~ 100-200 г/дм³. Як уже було сказано, відомі методи концентрування водних розчинів солей досить енергозатратні і вимагають використання складного обладнання.

В роботі [12] показано, що при використанні трикамерних електролізерів при розміщенні в анодній камері розчинів хлориду натрію та лугу, концентрація хлориду натрію в ній зростає майже на величину концентрації лугу.

За відсутності лугу в анодній камері хлориди окислюються до активного хлору з утворенням активного хлору, гіпохлориту натрію і інших окислених сполук хлору.



Проте, при високій концентрації гідроксид-аніонів в основному анодним процесом є окислення кисню:



В цьому випадку хлориди в анодній області не окислюються і відбувається їх концентрування за рахунок дифузії з робочої камери.

Катіони натрію з катіонної камери через катіонну мембрану проходять в катодну камеру, де за рахунок відновлення водню в молекулах води утворюються водень і гідроксид-аніони та в результаті відбувається концентрування лугу.

На першому етапі процес електролізу відрізнявся від розглянутого в роботі [12] тим, що в катоді розчин містив NaCl в концентрації 12780 мг/дм³ (360 мг-екв/дм³). В анодній камері концентрація NaCl була така ж, як в робочій і анодній камерах. Але окрім того, концентрація лугу в ній сягала 488 мг-екв/дм³. Результати електролізу приведені на рис. 1. Як видно з рис. 1 за 5 годин концентрація хлоридів у робочій камері знизилась до 35,5 мг/дм³ (1 мг-екв/дм³), а в анодній зросла із 360 до 600 мг-екв/дм³. Лужність в анодній камері знизилась до 68 мг-екв/дм³. Лужність в катодній камері зросла до 370 мг-екв/дм³, а в робочій камері до 25 мг-екв/дм³. Таким чином, лужність в анодній камері знизилась на 420 мг-екв/дм³, а катодній та робочій камері зросла на 310 мг-екв/дм³. Очевидно, що гідроксид-аніони з робочої камери частково переходили в анодну камеру, сповільнювало процес зниження лужності в анодній камері. Правда, при цьому сповільнювалась міграція хлоридів в анодну камеру. Їх концентрація в анодній камері зросла на 300 мг-екв/дм³, тоді як в робочій камері концентрація хлоридів знизилась на 359 мг-екв/дм³. Можливо, частина хлоридів окислилась, хоча зростання вмісту активного хлору в анодній камері не було відмічено. В катодній камері вміст хлоридів не змінювався.

Недоліком концентрування хлориду натрію у методі, описаному в роботі [12] є те, що у анодну камеру потрібно додавати розчин лугу. В даній роботі періодично міняли місцями катод і анод. Тому на другому етапі електролізу анод був у камері із високим рівнем лужності, а катод переміщували у камеру із підвищеною концентрацією хлоридів. Це дозволяло піднімати концентрацію хлоридів в анодній області та лужності в катодній області. В подальшому в область з високою лужністю переміщували анод, а з високою концентрацією хлориду натрію – катод. В цілому це спричиняло зростання хлориду натрію як в катодній, так і в анодній області за рахунок постійного знесолення води в робочій камері.

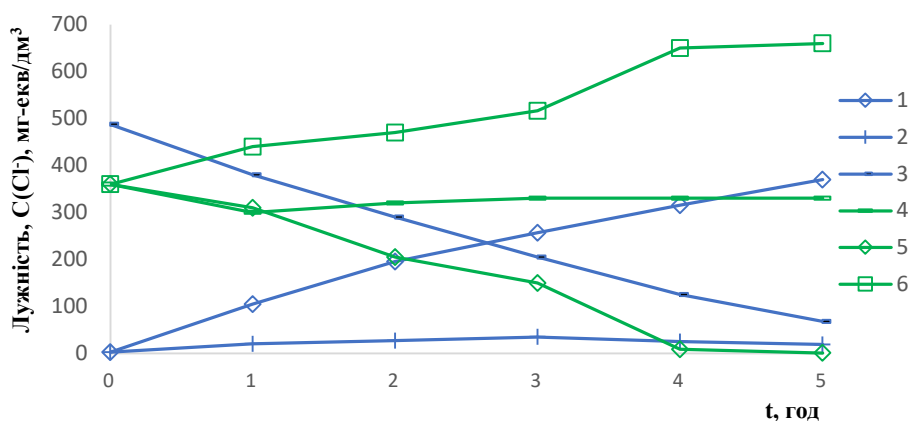


Рис. 1 – Залежність лужності (1, 2, 3) та концентрації хлоридів (4, 5, 6) в катодній (1, 4), робочій (2, 5) та анодній (3, 6) камерах від часу електролізу розчину хлориду натрію ($C_{\text{NaCl}}=20 \text{ г/дм}^3$) в трикамерному електролізері при густині струму $4,17 \text{ А/дм}^3$ ($I=0,5 \text{ А}$), концентрація NaCl -360 мг-екв/дм³ в катодній, робочій та анодній камерах

Очевидно, що зростання концентрації хлоридів (хлориду натрію) в катодній камері не буде збільшувати опір системи, а навпаки, буде сприяти електропровідності розчину. Опір буде зростати при підвищенні лужності розчину. Проте, суттєво опір системи зростає при підвищенні лужності більш як на 1000 мг-екв/дм³ [13,14]. Більш суттєво на опір системи буде впливати концентрація хлоридів в анодній області при лужності 50-450 мг-екв/дм³. Тому було проведено експеримент при концентрації хлоридів в катодній області на рівні 1200 мг-екв/дм³, а в анодній області на рівні 12780 мг-екв/дм³ (рис. 2).

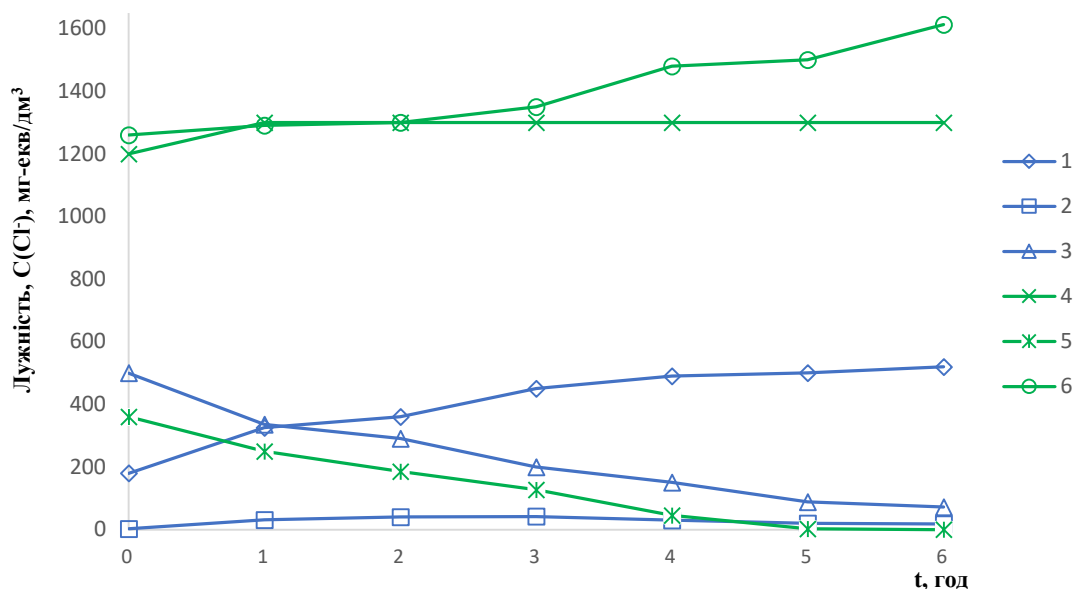


Рис. 2 – Залежність лужності (1, 2, 3) та концентрації хлоридів (4, 5, 6) в катодній (1, 4), робочій(2, 5) та анодній камері (3, 6) від часу електролізу розчину хлориду натрію в трикамерному електролізері при густині струму $4,17 \text{ A/дм}^3$ ($I=0,5 \text{ A}$), концентрація хлоридів в катодній камері 1200 мг-екв/дм^3 , в анодній – 1260 мг-екв/дм^3 , в робочій – 360 мг-екв/дм^3

Як і в попередньому випадку, процес проходить із зростанням лужності в катодній області та частково в робочій камері, концентрації хлоридів у анодній камері. При цьому знижується вміст хлоридів в робочій камері до $0,0 \text{ мг-екв/дм}^3$ та лужності в анодній камері до 72 мг-екв/дм^3 . Подальше зниження лужності недоцільне, через зростання швидкості реакції окислення хлоридів (1). Дещо нижчий рівень приросту лужності в катодній області ($\sim 340 \text{ мг-екв/дм}^3$) можна пояснити високим рівнем вихідної лужності $\sim 180 \text{ мг-екв/дм}^3$. З іншого боку, високий початковий рівень лужності в анодній камері забезпечує повне видалення в робочій камері. При цьому концентрація хлориду натрію в аноліті зросла до 352 мг-екв/дм^3 .

Слід відмітити, що згідно даних, приведених на рис. 1 та рис. 2 концентрація хлоридів в робочій області знижувалась до $0,0-1,0 \text{ мг/дм}^3$. Це суттєво знижувало електропровідність системи та збільшувало енергозатрати, хоча в цілому, результати по концентруванню хлориду натрію у аноліті були досить високими.

Із рис. 1-3 видно, що концентрація хлориду натрію зростала від першого до третього рисунку в катодній і анодній області. Це мало вплинути на вихід продуктів електролізу по струму. Це і підтверджують результати приведені на рис. 4.

Так, як із підвищенням концентрації солей в катодній і анодній камері при незмінній концентрації NaCl в робочій камері опір системи знижується. Як видно з рис. 4 це впливає на вихід за струмом по зростанню лужності в катодній камері та зростанню концентрації хлоридів у аноліті. Вихід по лужності в катодіті у першому досліді сягав 58 % і далі по ходу процесу знижувався. Це насамперед обумовлено зниженням концентрації хлориду натрію (безпосередньо іонів натрію) у робочій камері.

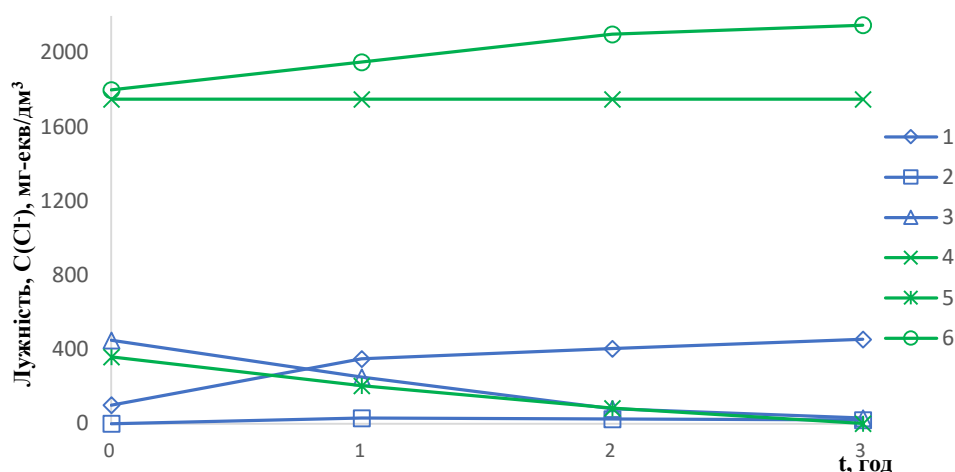


Рис. 3 – Залежність лужності (1, 2, 3) та концентрації хлоридів (4, 5, 6) в катодній (1, 4), робочій(2, 5) та анодній камері (3, 6) від часу електролізу розчину хлориду натрію в трикамерному електролізері при густині струму $4,17 \text{ A}/\text{дм}^3$ ($I=0,5 \text{ A}$), концентрація хлоридів в катодній камері $1750 \text{ мг-екв}/\text{дм}^3$, в анодній – $1800 \text{ мг-екв}/\text{дм}^3$, в робочій – $360 \text{ мг-екв}/\text{дм}^3$

У другому досліді вихід по струму за першу годину зріс до 80 %, далі знижувався до 55-50%. На 4-й годині вихід за струмом упав до 22 % і далі майже до 0%. Це обумовлено зниженням концентрації іонів натрію у робочій камері на 5-й годині практично до 0. У третьому досліді вихід за струмом лугу в катодній області на першій годині сягав майже 100%, а потім знижувався до 55 % по мірі зниження концентрації хлориду натрію у робочій камері. Подібні залежності отримані і по концентруванню хлоридів в анодній камері. Вихід за струмом був високий на перших годинах електролізу за рахунок високої концентрації хлоридів у робочій камері. По мірі зниження концентрації хлоридів у робочій камері та лужності в анодній камері вихід за струмом хлоридів у анодній камері падав. Але, в цілому, при зростанні солемісту в катодній і анодній камерах вихід за струмом зростав, при однакових концентраціях хлористого натрію в робочій камері. Тобто концентрація хлориду натрію у катодній і анодній областях у вибраному діапазоні концентрацій не лімітує концентрування хлориду натрію при початковій концентрації робочого розчину $\sim 20 \text{ г}/\text{дм}^3$.

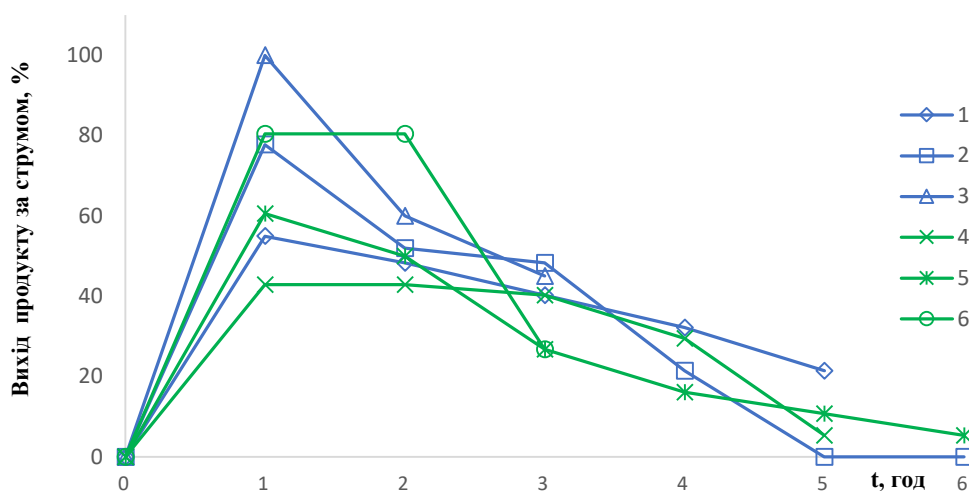


Рис. 4 – Залежність виходу за струмом по лужності (1, 2, 3) в катодній області та концентрації хлоридів (4, 5, 6) в анодній камері від часу електролізу розчину хлориду натрію в трикамерному електролізері при густині струму $4,17 \text{ A}/\text{дм}^3$ ($I=0,5 \text{ A}$) при концентрації хлоридів в аноліті, $\text{мг-екв}/\text{дм}^3$: 360 (1, 4); 1260 (2, 5); 1800 (3, 6)

На рис. 5 відображено результати концентрування хлориду натрію в трикамерному електролізері при періодичній зміні місцями катоду та аноду, та при зміні в робочій камері знесоленої води на розчин хлориду натрію концентрацією 20 г/дм^3 кожних 5 годин електролізу. Як видно з кривої 1 при проведенні електролізу за перших 5 годин лужність в анодній камері падає на 420 мг-екв/дм^3 , при цьому концентрація хлоридів зростає до 600 мг-екв/дм^3 . Лужність в катодній області зростає до 370 мг-екв/дм^3 за постійної концентрації хлоридів на наступному етапі після заміни знесоленої води в робочій камері, додавання туди 2 %-го розчину NaCl, заміні місцями катоду і аноду спостерігається зниження лужності в анодній області та підвищення концентрації хлоридів (криві 2, 4), підвищення лужності в катодній області (крива 3) та стабільній концентрації хлоридів в катодній області (крива 1). За 35 годин отримали $3,5 \text{ дм}^3$ знесоленої води із 2%-го розчину хлориду натрію та 100 см^3 аноліту з концентрацією NaCl $147,5 \text{ мг-екв/дм}^3$ та лужністю 50 мг-екв/дм^3 і 100 см^3 католіту із концентрацією NaCl $120,21 \text{ г/дм}^3$ та лужністю 520 мг-екв/дм^3 .

Дані розчини придатні для виробництва гіпохлориту натрію.

Перевагою даного методу є значна економія енергії та концентрування розчину NaCl, крім того необхідна кількість луку для нейтралізації аноліту синтезується в католіті.

Для уникнення необхідності постійно міняти місцями катод і анод можна використовувати електролізер, схема якого приведена на рис. 6.

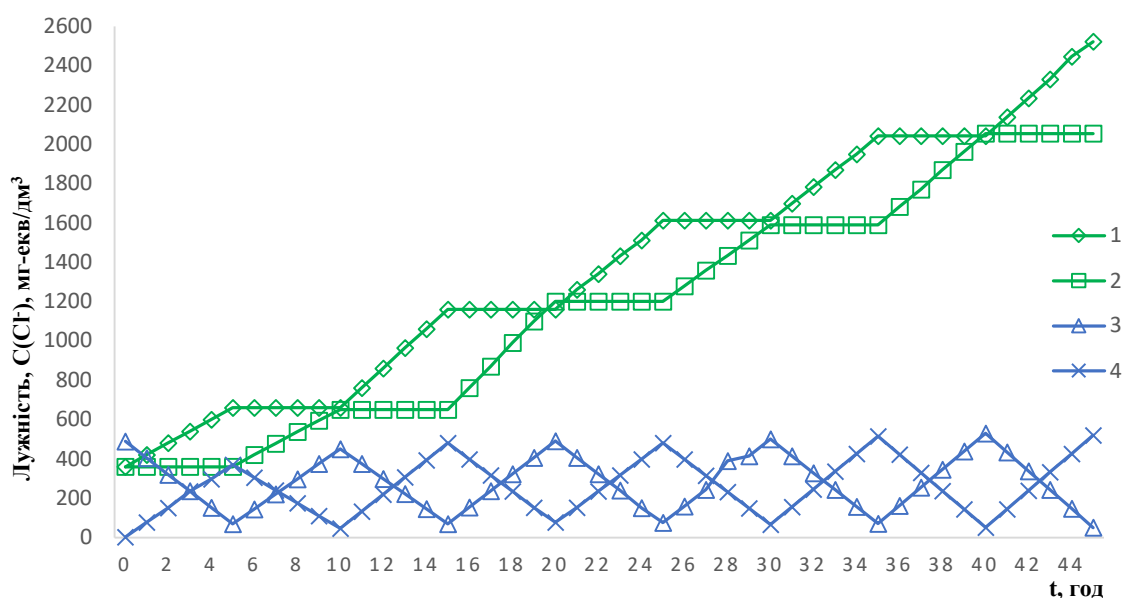
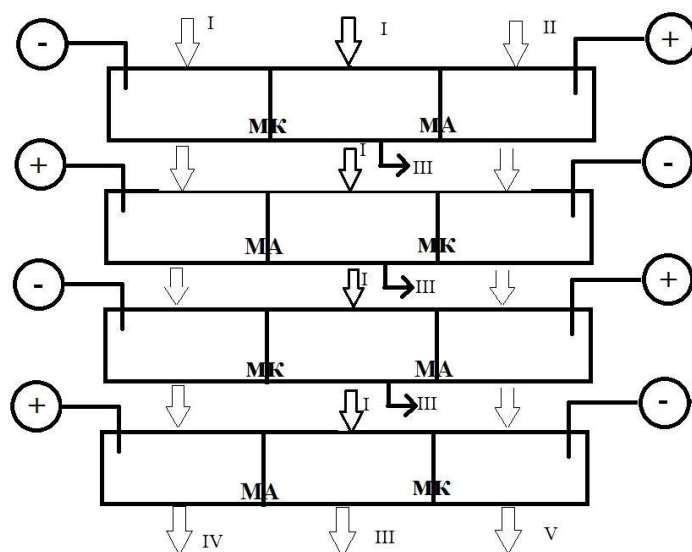


Рис. 5 – Залежність концентрації хлоридів в анодній та катодній (1, 2) області, лужності в катодній та анодній (3, 4) камерах від часу електролізу при густині струму $4,70 \text{ А/дм}^3$ ($I=0,5 \text{ А}$), при вихідних концентраціях NaCl в робочій камері 20 г/дм^3 при періодичній заміні електродів в катодній та анодній камерах

Витрата розчинів розраховується в залежності від вихідної концентрації солі в розчині, що концентрується та розрахованих розмірів комірок. Слід враховувати доцільність використання двосторонніх катодів і анодів.



МК - катіонна мембрана; МА – аніонна мембрана; I - Подача розчину NaCl ($C_{(NaCl)}=20 \text{ г/дм}^3$); II - подача розчину NaCl і NaOH ($C_{(NaOH)}\sim 500 \text{ мг-екв/дм}^3$); III - відведення знесоленої води; IV – відведення концентрованого розчину NaCl (аноліт); V - відведення концентрованого розчину NaCl (католіт)

Рис. 6 – Схема електролізера для концентрування розчину NaCl

Висновки. 1. Проведені дослідження показали, що при створенні в анодній камері трикамерного електролізера на рівні $\sim 500 \text{ мг-екв/дм}^3$ хлориди можуть концентруватись в аноліті без помітного утворення активного хлору за рахунок окислення гідроксид аніонів при зниженні лужності до $45\text{-}100 \text{ мг-екв/дм}^3$;

2. Встановлено, що по мірі концентрування хлоридів в аноліті при зниженні його лужності з 500 до $45\text{-}100 \text{ мг-екв/дм}^3$, така ж кількість луку утворюється в католіті. Присутність хлориду натрію в католіті і аноліті на процес утворення луку в католіті не впливає;

3. Показано, що при концентруванні хлориду натрію в трикамерному електролізері за наявності луку в католіті та при періодичній заміні місцями катоду та аноду знесоленої води на розчин NaCl не призводить до суттєвого підвищення опору системи та енергозатрат до концентрування NaCl з 20 г/дм^3 до $120\text{-}150 \text{ г/дм}^3$.

Перспектива подальших досліджень. В перспективі доцільно провести процеси концентрування хлоридів в аноліті за умови утворення активного хлору та окислення сполук хлору в герметичному електролізері з урахуванням можливих втрат Cl_2 та ClO_2 при випаровуванні.

Список використаної літератури

1. Голтвяницька О.В., Шаблій Т.О., Гомеля М.Д. Електродіалізне отримання сірчаної кислоти та луку з розчинів сульфату натрію // Восточно-європейський журнал передових технологій, 2011. №3/6(51). С.18-22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2011.1601>
2. Гомеля М. Д., Трус І. М., Василенко І. В. Математичне моделювання кінетики процесу концентрування сірчаної кислоти при електрохімічній переробці сульфатвмісних елюатів // Праці Одеського політехнічного університету. 2015. №1 (45). С. 146–151. <http://pratsi.opu.ua/app/webroot/articles/1428658539.pdf>
3. Трус І.М., Радовенчик Я.В., Гомеля М.Д. Спосіб концентрування розчинів луку при електрохімічній переробці елюатів, що містять солі натрію / Східно-Європейський журнал передових технологій, 2013. №5/6 (65), С. 20-23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.18190>
4. Гомеля М.Д., Радовенчик Я.В., Мартинюк Я.П. Переробка розчинів хлористого натрію з отриманням хлоридів алюмінію // Інтегровані технології та енергозбереження. 2017. No4. с. 664. http://library.kpi.kharkov.ua/files/JUR/ite_2017_4.pdf
5. Радовенчик Я.В., Крижановська Я.П., Вакуленко А.К. Отримання FeCl_3 при електрохімічному очищенні води // Сучасна наука: проблеми і перспективи. 2018. No 1. С. 23-25.

6. Гомеля, М. Д., Грабітченко, В. М., Радовенчик, Я. В., Макаренко, І. М. Отримання активного хлору елекролізом концентратів зворотньоосмотичного опріснення води / Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2017, (1). С. 58–65.
 7. Эстефане П. Х. Исследование тепло и массообмена при водоиспарительном концентрировании рассола, В. Ф. Райка, П. Х. Эстефане, М. А. Цейтлин // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2007. №5/4(21). с. 40-44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2011.1462>
 8. Ляшенко Є.В., Біла Т.А., Охріменко О.В. Процеси очищення води. Кріознесолення // Таврійський науковий вісник №97, С. 236-243, 2017.
 9. Клименко, В. В. Підвищення енергоефективності концентрування водних розчинів виморожуванням / В. В. Клименко, І. О. Переверзев, Н. В. Ковальчук // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - Кіровоград: КНТУ. 2016. Вип. 29. С. 197-203. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/3618>
 10. Бурбан, А. Мембранна дистиляція в процесах водопідготовки, знесолення та очищення стічних вод, Наклові записки. Том 137. Хімічні науки та технології. С. 15-23. 2014.
 11. Лісовець С. М. Підвищення ефективності очищення стічних вод за допомогою електролізної установки / С. М. Лісовець, Д. І. Томашевський // Технології та дизайн. 2018. № 4 (29). <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/10880>
 12. Грабітченко В. М., Трус І. М., Гомеля М. Д. Переробка концентратів зворотньоосмотичного опріснення води, що містять сульфати та нітрати // Збірник праць другої всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації». Дніпропетровськ. 2014. С. 9-57 – 9-58.
 13. Шаблій Т. А. Переработка отработанных щелочных и нейтральных регенерационных растворов ионообменного умягчения воды методом электролиза / Т. А. Шаблій // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2010. № 6. С. 63 – 66. <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/126911>
 14. Трус І. М. Отримання сірчаної кислоти при електрохімічній переробці елюатів, що містять сульфати / І. М. Трус, В. М. Грабітченко, М. Д. Гомеля // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2013. № 4/6 (64). С. 10 – 13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.16693>
-

Mykola Gomelya, Yana Kryzhanovska

CONCENTRATION OF SODIUM CHLORIDE SOLUTIONS IN THE PROCESSING OF CONCENTRATES FOR REVERSE OSMOTIC WATER DESALIFICATION

The paper examines the processes of concentrating sodium chloride solutions by the electrodialysis method. Given the shortage of reagents and their high prices, this electrodialysis method can be implemented to obtain acid and alkali from solutions of sodium sulfate, alkali, aluminum and iron coagulants. Today, the technologies that, as a result of the process, allow us to obtain valuable materials, substances, products, coagulants as a secondary product, are very justified, economically feasible and, most importantly, allow us to successfully implement the principles of low-waste production. The essence of the process is the use of sodium chloride solutions, which are formed during the desalination of water by reverse osmosis in the form of concentrates. The concentration process was implemented in a three-chamber electrolyzer, in the cathode, anode and working areas, a sodium chloride solution with a concentration of 360 mmol/dm³ was placed. An alkali solution with a concentration of 480 mg-eq/dm³ was used in the anode area. During electrolysis, alkali was formed in the cathode area, due to the diffusion of sodium in the working area and the cathodic reduction of water. Chlorides from the working area moved to the anode area. Hydroxide anions on the anode were oxidized to oxygen, chlorides with sodium formed sodium chloride, the concentration of which increased to 660 mg-eq/dm³. Alkalinity decreased to 68-70 mg-eq/dm³. When changing cathodes and anodes, the process was repeated in some places until the alkalinity in the cathode zone and the concentration of chlorides in the anode zone increased. A solution of sodium chloride with a concentration of 360 mmol/dm³ was added to the working area where water desalination took place. After nine cycles of electrolysis, a sodium chloride solution with a concentration of 100-150 g/dm³ was obtained. The residual content of sodium chloride in desalinated water reached 50-100 mg/dm³. Sodium chloride solutions with a concentration of 4 to 30 g/dm³ can be used for concentration. It should be noted that after conducting nine cycles of the experiment, we can

state that the process of concentration by this electro dialysis method does not lead to an increase in system resistance and energy consumption.

Key words: reverse osmosis, concentrate, desalination, electro dialysis, anode current density, current output

Referens

1. Holtvianytska, O.V., Shablii, T.O., Homelia M.D. (2011) “Elektrodializne otrymannia sirchanoi kysloty ta luhu z rozchyniv sulfatu natriiu”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no 3/6(51), p.18-22.
2. Homelia, M. D., Trus, I. M., Vasylenko, I. V. (2015), “Matematychni modeliuvannia kinetyky protsesu kontsentrivannia sirchanoi kysloty pry elektrokhimichnii pererobtsi sulfatvmisnykh eliuativ”, *Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu*, no 1 (45), p. 146–151.
3. Trus, I.M., Radovenchyk, Ya.V., Homelia, M.D. (2013), “Sposib kontsentrivannia rozchyniv luhu pry elektrokhimichnii pererobtsi eliuativ, shcho mistiat soli natriiu”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no 5/6 (65), p. 20-23.
4. Homelia, M.D., Radovenchyk, Ya.V., Martyniuk, Ya.P. (2017), “Pererobka rozchyniv khlorystoho natriiu z otrymanniam khlorydiv aliuminiu”, *Intehrovani tekhnologii ta enerhozberezhennia*, no 4, p. 664.
5. Radovenchyk, Ya.V., Kryzhanovska, Ya.P., Vakulenko, A.K. (2018), “Otrymannia $FeCl_3$ pry elektrokhimichnomu ochyshchenni vody”, *Suchasna nauka: problemy i perspektyvy*, no 1, p. 23-25.
6. Homelia, M. D., Hrabitchenko, V. M., Radovenchyk, Ya. V., Makarenko, I. M. (2017), “Otrymannia aktyvnoho khloru elektrolizom kontsentrativ zvorotnoosmotychnoho oprisnennia vody”, *Visnyk NTUU «KPI imeni Ihoria Sikorskoho». Seriya: Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia*, no (1), p. 58–65.
7. Jestefane, P. H., Rajka, V. F., Jestefane, P. H., Cejtin, M. A. (2007), “Issledovanie teplo i massoobmena pri vodoisparitel'nom koncentrirovani rassola”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no 5/4(21), p. 40-44.
8. Liashenko, Ye.V., Bila, T.A., Okhrimenko, O.V. (2017), “Ochyshchennia vody krioznesolennia”, *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, no 97, p. 236-243.
9. Klymenko, V. V., Pereverziev, I. O., Kovalchuk, N.V. (2016), “Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti kontsentrivannia vodnykh rozchyniv vymorozhuvanniam”, *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia. Kirovohrad: KNTU*, vyp. 29, p. 197-203.
10. Burban, A. (2014), “Membranna dystyliatsiia v protsesakh vodopidhotovky, znesolennia ta ochyshchennia stichnykh vod”, *Nakovi zapysky. Khimichni nauky ta tekhnologii*, no 137, p. 15-23.
11. Lisovets, S. M. , Tomashevskiy, D.I. (2018), “Pidvyshchennia efektyvnosti ochyshchennia stichnykh vod za dopomohoiu elektroliznoi ustanovky”, *Tekhnologii ta dizain*, no 4 p. 29.
12. Hrabitchenko, V. M., Trus, I. M., Homelia, M. D. (2014), “Pererobka kontsentrativ zvorotnoosmotychnoho oprisnennia vody, shcho mistiat sulfaty ta nitraty”, *Zbirnyk prats druhoi vseukrainskoi nauko-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv i molodykh uchenykh «Molod: nauka ta innovatsii». Dnipropetrovsk*, p. 9-57 – 9-58.
13. Shablyi, T. A. (2010), “Pererobka otrabotannykh shchelochnykh y neitralnykh regeneratsyonykh rastvorov yonoobmennoho umiahchennia vody metodom elektrolyza”, *Enerhotekhnolohyy y resursosberezhenye*, no 6, p. 63 – 66.
14. Trus, I. M., Hrabitchenko, V. M., Homelia, M. D. (2013), “Otrymannia sirchanoi kysloty pry elektrokhimichnii pererobtsi eliuativ, shcho mistiat sulfaty”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no 4/6 (64), p. 10 – 13.