

Література:

1. Закон України «Про стандартизацію» № 2742-VIII від 06.06.2019 [Текст]. (Відомості Верховної Ради).

2. Наказ № 145 від 5.11.2015 р. «Про прийняття нормативних документів України, гармонізованих з міжнародними та європейськими нормативними документами, національних стандартів України, скасування нормативних документів України та міждержавних стандартів в Україні» із змінами від 4.12.2015 р. № 172, та від 16.12.2015 р. №191.

3. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» станом від 22.06.2017 р. № 2119-VIII та № 1314-VII станом 02.08.2017 р. / Офіційний вісник України. – Офіц. вид. – К.: ДП «Українська правова інформація», 2014 р. – № 54. – С. 11. – (Нормативний документ Верховної Ради України).

4. Міжнародний стандарт ДСТУ ISO 9001:2015 «Система управління якістю. Вимоги»

Голота В. І. (нач. відділу, к.ф.-м.н.), Завада Л. М. (м.н.с.),

Кудін Д. В. (м.н.с.), Таран Г. В. (с.н.с., к.т.н.)

Національний науковий центр

«Харківський фізико-технічний інститут» НАН України

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ ДВОСТУПЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ РІДКИХ СТОКІВ АЕС З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАЗМОХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ЄМНІСНОЇ ДЕІОНІЗАЦІЇ ВОДИ

Значна кількість низькоактивних рідинних розчинів, що накопичується на об'єктах атомно-промислового комплексу, при утилізації відпрацьованого ядерного палива та у випадку техногенних катастроф на АЕС перероблюється за допомогою енергоємних технологій з використанням коштовних хімічних речовин, як то випарювання або зворотній осмос. Метою роботи є розробка

сучасного двостадійного безреагентного методу очищення води від радіоактивних домішок. На першій стадії проводиться окиснення радіоактивних комплексів озоном і їх видалення за допомогою фільтрування. Іони, які не прореагували з озоном, концентруються і видаляються із води на другій стадії за допомогою технології ємнісної деіонізації з використання карбонових електродів з високорозвиненою поверхнею.

Для вирішення поставленої мети було розроблено та виготовлено безбар'єрний озонатор з наступними параметрами: продуктивність озону до $1 \text{ г}[\text{O}_3]/\text{год}$ при витратах повітря через систему до $16 \text{ м}^3/\text{год}$ та споживаній потужності від електричної мережі до 45 Вт . Розроблено та виготовлено карбонові електроди удосконаленої конструкції: 12 шарів карбонового матеріалу САУТ-1С запечені по периметру у фрейм, який виготовлено з терморозширеного графітокартону. Розроблений модуль ємнісної деіонізації води дозволяє знижувати вхідну концентрацію розчинених іонів з 2 г/л до 500 мг/л та з 600 мг/л до 100 мг/л .

Метод ємнісної деіонізації води, тобто вилучення іонів із сольового розчину під впливом постійної напруги, що прикладена до електродів, використовується для опріснення слабо солоних (вміст солі $1,0\text{-}3\text{ г/л}$) та солонуватих ($3\text{-}10 \text{ г/л}$) вод. Ця технологія зараз активно впроваджується у розвинених країнах світу (Нідерланди, США та інш.) [1-2]. В ННЦ ХФТІ було запропоновано оригінальне рішення для конструкції електродів, що використовуються у системах ємнісної деіонізації води з поперечним потоком сольового розчину [3-5]. Однією з оригінальних інженерних ідей стало використання фрейму, що дозволяє рівномірно підводити електричний потенціал до всіх частин сорбційного карбонового електроду, а також це значно підвищило надійність та ресурс роботи електродів.

Для дослідження спільної дії озону та ємнісної деіонізації води використовувався експериментальний стенд, що складається з модуля ємнісної деіонізації води, повітряного компресора, озонатора, інжектора

озону, низьковольтного джерела живлення CDS1-5M10, повітряного та водяного ротаметрів, кондуктометра Vante 910 та рН-метра Vante 930 (Рис. 1).

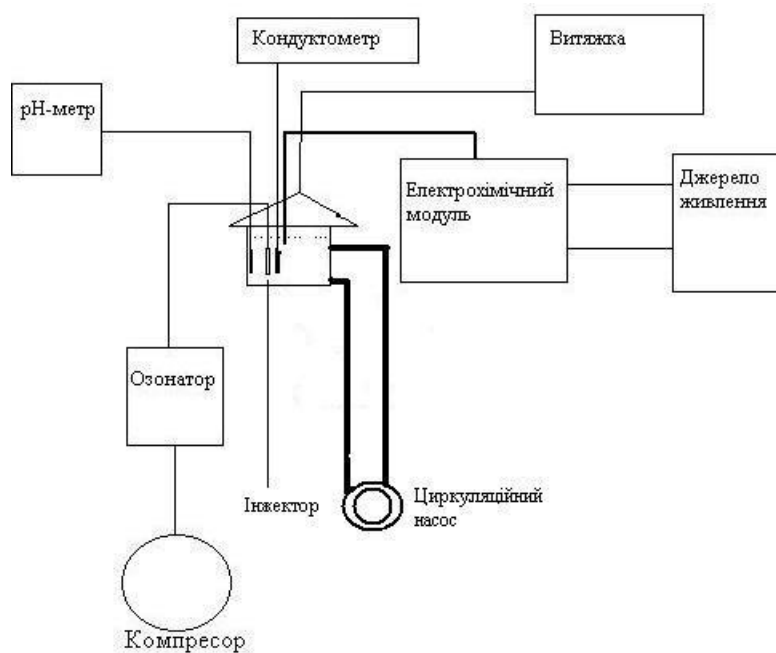


Рисунок 1 – Блок-схема експериментального станда для комплексної обробки водних розчинів

Дослідження ефективності процесів ємнісної деіонізації води.

На рис. 2 наведено графік зміни електропровідності розчину хлориду натрію у буферному об'ємі, яка корелює з вмістом іонів у розчині, для різних співвідношень загального об'єму розчину у системи та витраті розчину крізь модуль ємнісної деіонізації води.

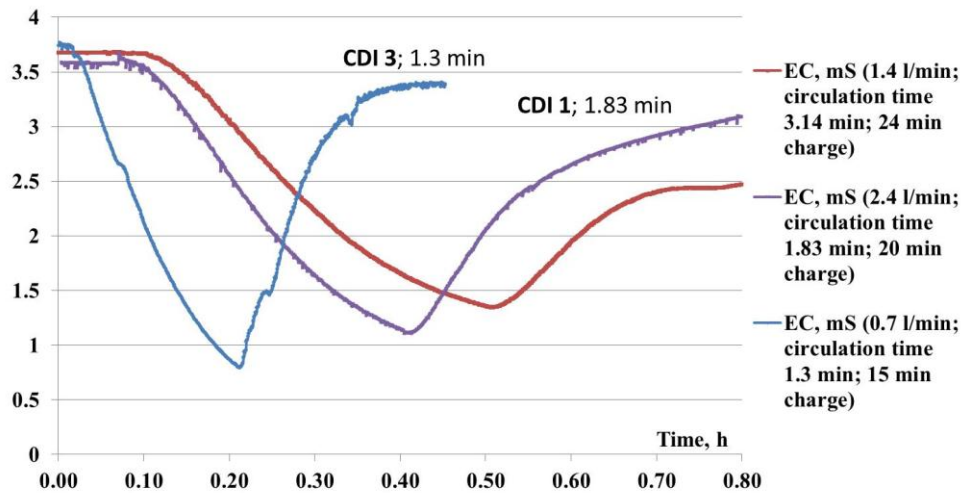


Рисунок 2 – Залежність електропровідності у буферному об’ємі від співвідношення загального об’єму розчину в системі та витрати розчину крізь модуль ємнісної деіонізації води (час обертання розчину у системі - 1,3;1,83;3,14 хв). Модуль ємнісної деіонізації заряджався до сталої напруги 3,5 В

Видно, що при зменшенні часу обертання відбувається скорочення часу початку зменшення електропровідності у буферному об’ємі, зменшується кінцева електропровідність розчину у буферному об’ємі та загальний час заряджання, тобто зростає ефективність сорбції. Так при зменшенні часу обертання у 2,4 рази загальний час обертання зменшується також у 2,4 рази. Таким чином при сталому об’ємі розчину у системі значний вплив на ефективність процесу сорбції має швидкість прокачування сольового розчину крізь систему ємнісної деіонізації води.

На рис. Знаведено залежність електропровідності (солемісту) розчину у буферному об’ємі для часу обертання 1,3 хв, при постійному струмі заряджання 6 А та комплексному режимі розряджання (частково зворотнім струмом, частково замиканням (см Рис.7.)) для початкової концентрації 2000 мг/л.

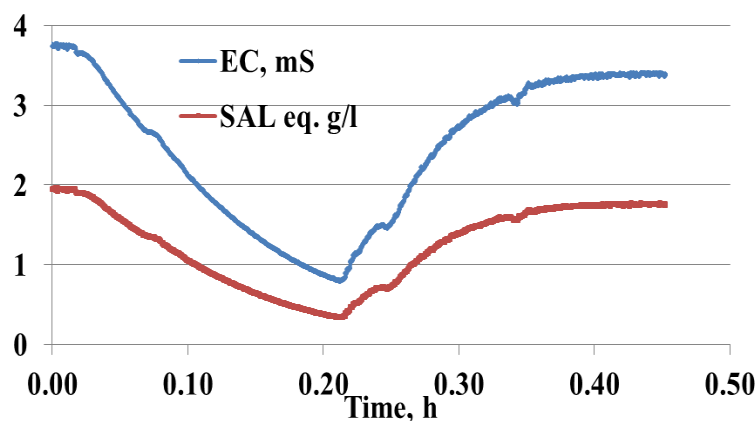


Рисунок 3 – Залежність електропровідності (солевмісту) розчину у буферному об’ємі для часу обертання 1,3 хв, при постійному струмі заряджання 6 А

Видно, що за 12 хвилин відбувається зменшення вмісту іонів у розчині майже у 4 рази, з 2000 мг/л до 500 мг/л, що відповідає затребуваним параметрам.

На рис. 4 наведено графік залежності рН розчину у буферному об’ємі від часу при заряджанні-розряджанні модуля ємнісної деіонізації води.

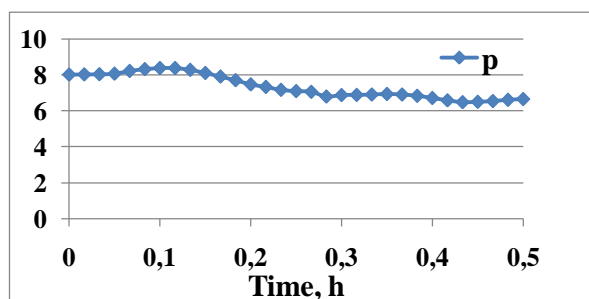


Рисунок 4 – Залежність рН розчину у буферному об’ємі для часу обертання 1,3 хв, при постійному струмі заряджання 6 А

Видно, що з початку відбувається незначне зростання рН, що можливо обумовлено відмінностями у рухливості іонів гідроксиду та водню у воді, потім рН поступово зменшується, що скоріш за все обумовлено електродними процесами з напрацюванням іонів в наслідок процесів

пов'язаних з початком електролізу. Слід зазначити, що для вищеописаного експерименту рН не виходить за межі прийнятного у 6-8.

Проведено дослідження ефективності сорбції для нітриду натрію. На рис. 5 наведено залежність електропровідності (солемісту) розчину у буферному об'ємі для часу обертання 1,83 хв, при постійному струмі заряджання 24 А та комплексному режимі розряджання для початкової концентрації 2000 мг/л (фіолетова крива) та 3000 мг/л (зелена крива). Так як питомий вклад іонів нітриду та хлору значно відрізняється, електропровідність розчинів також відрізняється.

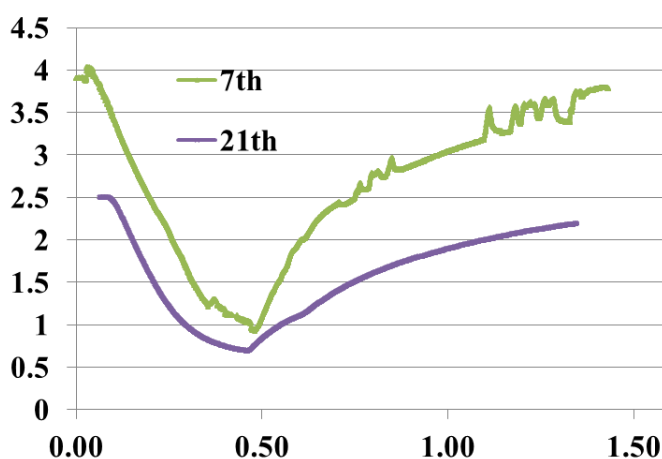


Рисунок 5 – Залежність електропровідності (солемісту, NaNO_3) розчину у буферному об'ємі для часу обертання 1,83 хв, при постійному струмі заряджання 24 А

Видно, що електропровідність розчину, а відповідно і солеміст зменшується у 4 рази, як і у випадку з хлоридом натрію.

Озонатор для система озонування води.

Розроблено озонатор вдосконаленої конструкції продуктивність $1\text{гO}_3/\text{год}$. За основу даного прототипу було взято стандартний плазмохімічний реактор [6], що використовуються в озонаторах серії OzW, але з укороченим циліндричним графітовим анодом до третини (16 см довжини); міжелектродний проміжок становив 5 мм. Для живлення цього

плазмохімічного реактора розробили та виготовили високовольтне джерело живлення з наступними параметрами:

- форма високовольтної напруги – трапецієподібний меандр;
- полярність високовольтних імпульсів – від'ємна;
- частота слідування високовольтних імпульсів при максимальній потужності – 25 кГц;
- амплітуда високовольтних імпульсів – 9 кВ;
- номінальна вихідна потужність – 65 Вт;
- керування потужністю здійснюється зміною частоти в діапазоні 50 кГц...25кГц
- захист від перегріву плазмохімічного реактора синтезу озону;
- захист від КЗ з автоматичним з плавним відновленням заданого режиму;
- захист від ХХ (11 кВ) з автоматичним з плавним відновленням заданого режиму.

Фото озонатора наведено на рис. 6.



Рисунок 6 – Фотографії прототипу озонатора для додатків з потребами невеликої кількості озону в озон-повітряній суміші

На рис. 7 приведена залежність концентрації озону $C[O_3]$, що напрацьовується озонатором, від потужності W , що змінювалась регулятором від 0 до 10 відносних одиниць (змінювалась при цьому частота слідування імпульсів від 50кГц до 25кГц). Швидкість потоку повітря через реактор становила $16 \text{ м}^3/\text{год}$.

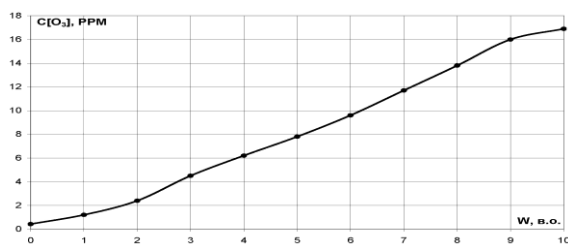


Рисунок 7 – Залежність концентрації озону в озон-повітряній суміші на виході озонатора від вкладеної потужності для швидкості потоку повітря

$$Q = 16 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Висновки.

Розроблено, виготовлено та протестовано систему комплексної (озонація + ємнісна деіонізація) обробки води. При сорбційній здатності на рівні 12 мг NaCl/ г матеріалу (80 % від максимально можливої) за один цикл може сорбуватися 15,6 г NaCl, що відповідає зменшенню концентрації з 2 г/л до 500-600 мг/л 10 л води. Таким чином для обробки 50 л води при обробці одним модулем 5 л води за цикл, при двотактній схемі при якій в той час як в одному модулі відбувається сорбція в іншому десорбція, час одного циклу складає 12 хвилин. Для 12 хвилинного циклу необхідно забезпечити витрату розчину крізь модуль на рівні 3 л/хв.

Проведено випробування одночасної роботи систем озонування та ємнісної деіонізації. Продемонстровано, що барботування озон-повітряної газової суміші не має впливу на процес ємнісної деіонізації.

Література:

1. S. Porada, R. Zhao, A. van der Wal, V. Presser, P.M. Biesheuvel, Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization // *Progress in Materials Science* 58 (2013) 1388–1442.
2. Farmer JC, Fix DV, Mack GV, Pekala RW, Poco JF. Capacitive deionization of NaCl and NaNO₃ solutions with carbon aerogel electrodes. *J Electrochem Soc* 1996; 143: 159–69.
3. V.I. Golota, L.M. Zavada, D.V. Kudin, S.V. Rodionov. Development of technology for capacity deionization water. // *Journal of Kharkiv National University, Physical Series: "Nuclei, Particles, Fields"*, 2012, issue 4, vol. 56, #1025, pp 98-101.
4. В. І. Голота, Д. В. Кудін, Л. М. Завада, С. В. Родіонов, С. Ю. Горбенко, Д. В. Мошинский. Деградація сорбційних свойств матеріала електродов модуля ёмкостной деіонізації води. // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*, в.1(34), 2013, с.153-155.
5. V. I. Golota, L. M. Zavada, D. V. Kudin, S. V. Rodionov. Development of technology for capacity deionization water. // *Journal of Kharkiv National University, Physical Series: "Nuclei, Particles, Fields"*, 2012, issue 4, vol. 56, #1025, pp 98-101.
6. В. І. Голота, Л. М. Завада, О. В. Котюков, О. В. Поляков, С. Г. Пугач. Повышение эффективности синтеза озона в системе электродов игла-плоскость с импульсным питанием. // *Вопросы атомной науки и техники. Серия “Плазменная электроника и новые методы ускорения”*, №5, 2006, с.с.91-94.