

**В.Б. БАЙРАЧНИЙ**, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХП",  
**А.Г. ТКАЧЕНКО**, магістрант, НТУ "ХП",  
**Г.Г. ТУЛЬСЬКИЙ**, д-р. техн. наук, доц., НТУ "ХП",  
**ХАССАН МУССА ДИАБ**, асп., НТУ "ХП"

## **РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ АПАРАТУ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ КОНЦЕНТРОВАНИХ РОЗЧИНІВ АКТИВНОГО ХЛОРУ**

Проаналізована можливість використання мембранного хлорного електролізера для розробки на його основі апарату для одержання концентрованих розчинів активного хлору. Показано, що технологічні параметри роботи мембранного хлорного електролізера для одержання концентрованих розчинів активного хлору значно відрізняються від номінальних. Встановлено, що при електролізі водного розчину хлоридів при температурі не вище за 298 К, у складі анодного газу присутній двоокис хлору.

**Ключові слова:** гіпохлорит натрію, оксид хлору (IV), мембранний електроліз, активний хлор.

**Вступ.** Для дезінфекції, знезараження, дезодорування води, вибілювання волокон тканин та паперу використовують газоподібний хлор. Перевагами застосування газоподібного хлору є простота його застосування у найрізноманітніших процесах водообробки та доступна вартість. Однак, потенційна небезпека виникнення надзвичайних ситуацій, утворення хлорорганічних сполук, у тому числі канцерогенних, технічні складності при транспортуванні, зберіганні та дозуванні, корозійна агресивність хлору зумовлюють актуальність пошуку можливостей його заміни в цих процесах.

Мембранний електроліз водних розчинів NaCl є основою для одержання оксигенвмісних сполук хлору високої чистоти. В залежності від умов проведення електрохімічного синтезу мембранний електроліз дозволяє керувати напрямком перебігу анодної реакції з метою одержання не тільки газоподібного хлору, для подальшого виробництва NaClO, але й ClO<sub>2</sub> [1, 2].

Результати досліджень електрохімічного синтезу розчинів активного хлору є основою для розробки технології одержання концентрованих розчинів гіпохлориту натрію та діоксиду хлору [3, 4]. У зв'язку з цим розробка керованого по цільовій речовині електрохімічного синтезу сполук активного хлору є актуальною науковою та прикладною задачею.

© В.Б. Байрачний, А.Г. Ткаченко, Г.Г. Тульський, Х.М. Диаб, 2014

**Методика експерименту.** Експериментальне дослідження кінетичних параметрів анодних процесів проводили із залученням методів стаціонарної та циклічної вольтамперометрії. Поляризаційні вимірювання виконували за допомогою потенціостата ПИ-50-1.1 із застосуванням ячейки ЯСЭ-2 з варіюванням швидкості сканування потенціалу в діапазоні від 1 до 50 мВ·с<sup>-1</sup>. В якості аноду використовували титановий струмопідвід з оксидним рутенієво-титановим (ОРТА), оксидно-іридієвим (ОІТА), MnO<sub>2</sub> шаром, платину. В якості допоміжного електрода використовували платиновий електрод. Електродом порівняння був насичений хлоридсрібний. В роботі потенціали перераховані за шкалою нормального водневого електрода.

Для проведення ресурсних випробувань лабораторного електролізера для одержання концентрованих розчинів «активного хлору» використовували джерело постійного струму Б5-47 та СИП-35. Термостатування здійснювалось за допомогою термостата УТ-15, (регулювання температури відбувалось у межах заданої  $\pm 0,1$  °С).

Для приготування електроліту та розчинів для аналізу використано реактиви марки х.ч. та ч.д.а.: NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, KI, NaOH, *o*-толідин, етандіову (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), хлоридну, сульфатну і ацетатну кислоти.

Розділення анодного газу проводили пропусканням суміші газів через поглинаючі розчини: для поглинання ClO<sub>2</sub> – суміш H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> та HCl; для поглинання Cl<sub>2</sub> – розчин NaOH. Для визначення вмісту NaClO і NaClO<sub>3</sub> застосовано йодометричний метод. Вміст діоксиду хлору визначали йодометричним та фотокалориметричним методами.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Найбільш простою схемою електролізної установки з мінімальними можливими капітальними витратами є схема, при якій в якості розсолу використовують природні електроліти – підземні мінералізовані і морські води. У цьому випадку, експлуатаційні витрати визначаються в основному витратами електроенергії, тому з метою зниження енергетичних витрат процес доцільно вести в напрямку одержання низько концентрованих розчинів гіпохлориту натрію із вмістом активного хлору 0,2 ... 1 г·дм<sup>-3</sup>.

Очевидно, що застосування таких установок обмежено районами, розташованими в прибережних зонах, і підземні мінеральні води можуть використовуватися тільки в тих випадках, коли поблизу очисних споруд перебувають пробурені свердловини багатощельового призначення. У зв'язку із вищевикладеним, найбільше розповсюдження будуть знаходити установки, що

працюють на розчинах хлориду натрію.

Проведені попередні дослідження дозволили реалізувати принцип роботи мембранного електролізу, який представлений на рисунку. У відповідності з запропонованим принципом, в процесі електролізу з анодної камери виходить газорідинна суміш, що містить у своєму складі хлор, діоксид хлору, кисень та водний розчин хлориду натрію, а протонувана вода переходить через мембрану до катодної камери.

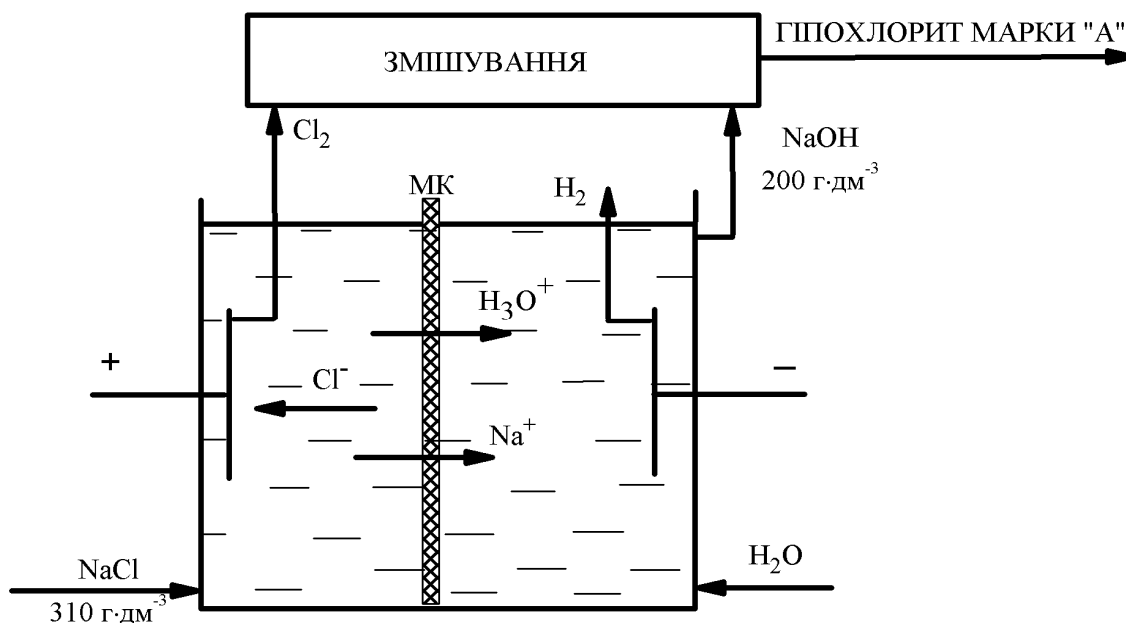


Рисунок – Принцип роботи мембранного електролізу для одержання концентрованого водного розчину NaClO

Такий принцип роботи дозволяє мінімізувати вміст хлориду натрію в концентрованих розчинах гіпохлориту натрію, відмовитись від систем нагріву вхідних складових електролізу та охолодження продуктів катодної та анодної реакцій. Запропонована технологія одержання концентрованих розчинів активного хлору передбачає застосування мембранного електролізу. Використання іонообмінної мембрани для відокремлення анодного і катодного простору електролізера дозволяє запобігти протіканню побічних реакцій, збільшити концентрацію гідроксиду натрію та ступінь використання вихідного розчину солі. Просторове відокремлення стадій електролізу та утворення гіпохлориту дозволяє проводити кожну з них при оптимальній температурі (електроліз – при підвищеній, утворення гіпохлорита – при 283 ... 303 К).

Широке впровадження мембранних технологій для виробництва гіпохлориту натрію гальмується через значну вартість катіонообмінних мембран і високі вимоги до чистоти хлоридних розчинів, що надходять на електроліз.

Але зважаючи на такі переваги як можливість роботи при високих густинах струму ( $3 \dots 5 \text{ кА}\cdot\text{м}^{-2}$ ) і менших питомих витратах електричної енергії – мембранний метод має значні перспективи у промисловому використанні.

На підставі кінетичних параметрів електродних та мембранних процесів при одержанні суміші  $\text{Cl}_2$  і  $\text{ClO}_2$  та концентрованого розчину гіпохлориту натрію були встановлені технологічні показники цих процесів (таблиця).

Таблиця – Технологічні характеристики роботи електрохімічного генератора концентрованих розчинів «активного хлору»

Параметр електролізу	$\text{Cl}_2 + \text{ClO}_2$	Гіпохлорит натрію ( $180 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3} \text{ NaClO}$ )
Концентрація $\text{NaCl}$ , $\text{г}\cdot\text{дм}^{-3}$	280 – 310	280 – 310
Температура електролізу, К	286 ... 293	283 ... 303
pH електроліту	3,5 ... 4,5	2,5 ... 3,0
Анодний матеріал	$\text{RuO}_2$ (30%) + $\text{TiO}_2$ (70%)	$\text{IrO}_2$ (30%) + $\text{TiO}_2$ (70%)
Густина струму $\text{А}\cdot\text{м}^{-2}$	1000 – 1500	1000 – 3000
Напруга на ячейці, В	3,75 – 3,97	3,85 – 4,07
Питомий витрати ел. енергії, $\text{кВт}\cdot\text{год}\cdot\text{кг}^{-1}$	$\text{Cl}_2$ – 3,23 ... 3,42 $\text{ClO}_2$ – 91,85 ... 97,25	2,90 ... 3,05

### Висновки:

- Технологія одержання концентрованих розчинів активного хлору передбачає застосування мембранного електролізу. Використання іонообмінної мембрани для відокремлення анодного і катодного простору електролізера дозволяє запобігти перебігу побічних процесів, збільшити концентрацію гідрооксиду натрію та ступінь використання вихідного розчину солі.

- Просторове відокремлення стадій електролізу та утворення гіпохлориту дозволяє проводити кожну з них при оптимальній температурі (електроліз – при підвищеній, утворення гіпохлориту – при  $283 \dots 303 \text{ К}$ ).

- В ході дослідних випробувань електрохімічний генератор концентрованих розчинів активного хлору показав стабільні характеристики роботи та довів ефективність експлуатації запропонованої технології в системах централізованого господарсько-питного водозабезпечення та водовідведення населених пунктів.

**Список літератури:** 1. Горбачов А.К. Технічна електрохімія: підручник у 4 ч. / А.К. Горбачов; за ред. д-ра техн. наук, проф. Б. І. Байрачного. – Х.: ВАТ «Видавництво «Прапор»», 2002. – Ч. I: Електрохіміч-

ні виробництва хімічних продуктів. – 2002. – 254 с. **2.** *Петров В.Б.* Установки по производству электролитического NaClO / *В.Б. Петров, А.Е. Синяков, В.Л. Драгинский* // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 1. – С. 33 – 36. **3.** *Тульский Г.Г.* Совершенствование технологии электрохимического синтеза растворов «активного хлора» / *Г.Г. Тульский, А.А. Смирнов, А.Ю. Бровин* // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 4 (2). – С. 236 – 238. **4.** *Wintner B.* Chlorine dioxide a versatile, high-value sterilant for the biopharmaceutical industry / *B. Winter, A. Contino, G. O'Nill* // BioProcess International. – 2005. – № 2. – P. 42 – 46.

**References:** **1.** *Gorbachov A.K* Technical electrochemistry / *A.K Gorbachov*; for Ed. Dr. techn. Sciences, prof. *B.I. Bayrachnyi*. – Kh.: BAT "Vidavnistvo" Prapor "", 2002. – Part I: Elektrohimični virobništva himičnih produktiv. – 2002. – 254 p. **2.** *Petrov V.B* Installations for the manufacture of electrolytic NaClO / *V.B Petrov, A.E Sinjakov, V.L Draginsky* // Water supply and sanitary engineering. – 2007. – № 1. – P. 33 – 36. **3.** *Tulskiy G.G* Improving technology solutions electrochemical synthesis of "active chlorine" / *G.G Tulskiy, A.A Smirnov, A.Y Brovin* // Questions of chemistry and chemical technology. – 2011. – № 4 (2). – P. 236 – 238. **4.** *Wintner B.* Chlorine dioxide a versatile, high-value sterilant for the biopharmaceutical industry / *B. Winter, A. Contino, G. O'Nill* // BioProcess International. – 2005. – № 2. – P. 42 – 46.

*Надійшла в редколегію (Received by the editorial board) 24.03.14*

УДК 621.357

**Розробка конструкції апарату для одержання концентрованих розчинів активного хлору / В.Б. БАЙРАЧНИЙ, А.Г. ТКАЧЕНКО, Г.Г. ТУЛЬСЬКИЙ, Х.М. ДИАБ** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 27 (1070). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 3 – 7. – Бібліогр.: 4 назв.

Проанализирована возможность использования мембранного хлорной электролизера для разработки на его основе аппарата для получения концентрированных растворов активного хлора. Показано, что технологические параметры работы мембранного хлорного электролизера для получения концентрированных растворов активного хлора значительно отличаются от номинальных. Установлено, что при электролизе водного раствора хлоридов при температуре не выше 298 К, в составе анодного газа присутствует двуокись хлора.

**Ключевые слова:** гипохлорит натрия, оксид хлора (IV), мембранный электролиз, активный хлор.

UDC 621.357

Development of the construction of apparatus for obtaining concentrated solutions of chlorine / **V.B. BAYRACHNYI, A.G. TKACHENKO, G.G. TULSKIY, H.M. DIAB** // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 27 (1070). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 3 – 7. – Bibliogr.: 4 names. – ISSN 2079-0821.

The possibility of using a membrane electrolyzer to develop bleach on its basis an apparatus for producing concentrated solutions of active chlorine. It is shown that the technological parameters of the membrane electrolyzer hlornouj for concentrated solutions of active chlorine are significantly different from the nominal. It is established that during the electrolysis of aqueous sodium chloride at a temperature not higher than 298 K, the anode gas comprising chlorine dioxide is present.

**Keywords:** sodium hypochlorite, chlorine oxide (IV), membrane electrolysis, active chlorine.