

*Г.Г. ТУЛЬСКИЙ*, докт. техн. наук, НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина;  
*А.А. СМІРНОВ*, аспирант НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина;  
*ХАССАН МУССА ДИАБ*, аспирант НТУ «ХПИ», г. Бейрут, Ливан

## **ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНОГО СОЛЕСОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ЕЁ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ**

Досліджено електрохімічний синтез водного розчину гіпохлориту натрію при електролізі розчинів хлориду натрію з низькою концентрацією. Встановлені граничні густини струму в залежності від концентрації хлориду натрію та температури електролізу. Запропоновано конструкція електродного блоку для проточної ячейки знезаражування води, яка дозволяє мінімізувати омичні втрати напруги та турбулізувати потік рідини.

Electrochemical synthesis of a water solution of hypochlorite sodium at electrolyze solutions of chloride of sodium with low concentration is investigated. Limiting density of a current depending on concentration of chloride of sodium and temperature electrolyze, are defined. The design of the electrode block of a flowing cell of disinfecting of water that allows to minimized losses of pressure and to mix a liquid stream is offered.

**Вступление.** Большой интерес для решения проблем водоснабжения в Украине вызывает возможность использования природного солесодержания воды для проведения процессов электрохимического обеззараживания, умягчения и дезодорирования. В настоящее время широко применяемым методом обеззараживания воды является использование «активного хлора» полученного путем прямого электролиза. Учитывая нестабильность растворов «активного хлора», электрохимический метод позволяет создавать установки различной производительности непосредственно на месте потребления дезинфектанта с использованием местного исходного сырья. В качестве которого могут выступать морская вода, естественные рассолы, минерализированные или промышленные стоки и т.д., которые содержат хлорид натрия. В этом случае эксплуатационные затраты определяются в основном затратами электроэнергии, поэтому с целью снижения энергетических затрат процесс целесообразно вести в направлении получения слабokonцентрированных растворов гипохлорита натрия с содержанием активного хлора до  $2 \text{ г-дм}^{-3}$ . При реализации такой схемы на практике электролит без какой-либо предварительной обработки с заданным расходом подается на электролизную уста-

новку, а потом в бак накопитель гипохлорита натрия или непосредственно в обрабатываемые системы.

На сегодняшний день эксплуатируются бездиафрагменные установки периодического действия работающие на растворах с содержанием хлорида натрия не менее  $50 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$  [1 – 3]. Их недостатком является низкое содержание гипохлорита натрия из-за процессов восстановления целевого продукта на катоде. Альтернативными являются установки с использованием керамической фильтрующей диафрагмой [5]. Применение диафрагмы позволяет повысить выход по току по гипохлориту натрия. Однако такая технологическая схема требует высокой степени очистки рассола, что делает процесс электрообеззараживания больших объемов воды сложно реализуемым и весьма затратным. Использование проточной бездиафрагменной схемы лишено выше рассмотренных недостатков и требует дополнительного изучения кинетики протекающих процессов.

Широкое использование электролиза тормозится из-за несовершенства анодных материалов и конструкции электролизных установок.

**Конструкция электролизера.** Нами была предложена конструкция электродного блока состоящего из двух плоскопараллельных водопроницаемых пористых электродов, прижатых друг к другу через тонкую сетчатую разделительную перегородку. Это позволяет минимизировать омические потери напряжения в электродном блоке вследствие низкого солесодержания, обрабатываемого раствора. А структура пористых электродов турбулизирует поток проходящего через него раствора для устранения концентрационных затруднений.

Поток обрабатываемой воды подается перпендикулярно на электродный блок и проходит сквозь него со стороны катода, что позволяет избежать катодного восстановления образовавшегося активного хлора. Для эффективной работы предложенной конструкции в качестве анодного материала был выбран ОРТА. Аноды на основе  $\text{RuO}_2$  применяются для промышленного электролиза концентрированных растворов хлоридов. При концентрации хлоридов менее  $5 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$  они подвержены значительному износу.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Основными показателями определяющими эффективность процесса электрохимического обеззараживания воды является концентрация хлорид ионов, температура электролиза и ионный состав. Содержание хлорид ионов в природных водах находится в очень широком диапазоне. Предельно допустимое содержание хлорид ио-

нов в питьевой воде составляет  $70 \text{ мг}\cdot\text{дм}^{-3}$ , в воде плавательных бассейнов не более  $350 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ . Содержание хлоридов в природных водах, используемых для хозяйственно-бытовых нужд предприятий Украины, может достигать  $5 - 10 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ .

Обеззараживание всех перечисленных категорий вод путем добавления растворов гипохлорита натрия неизбежно приводит к увеличению содержания хлоридов, что ограничивает применение этого метода обработки. Поэтому были проведены исследования по изучению использования природного солесодержания хлорида натрия от  $0,01$  до  $0,05 \text{ г}\cdot\text{экв}\cdot\text{дм}^{-3}$ .

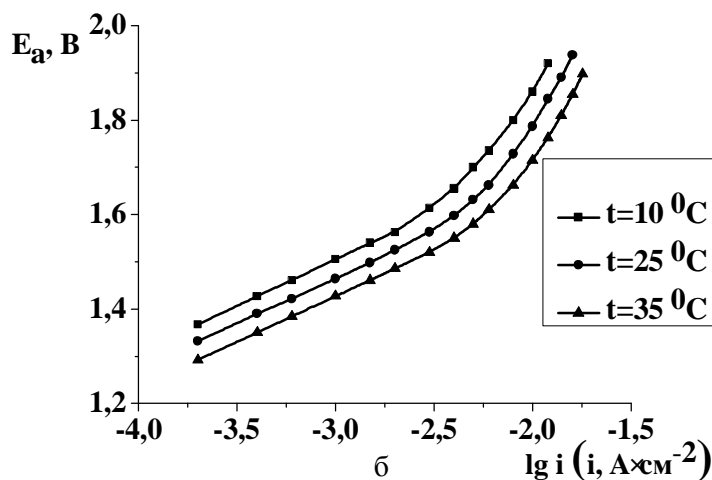
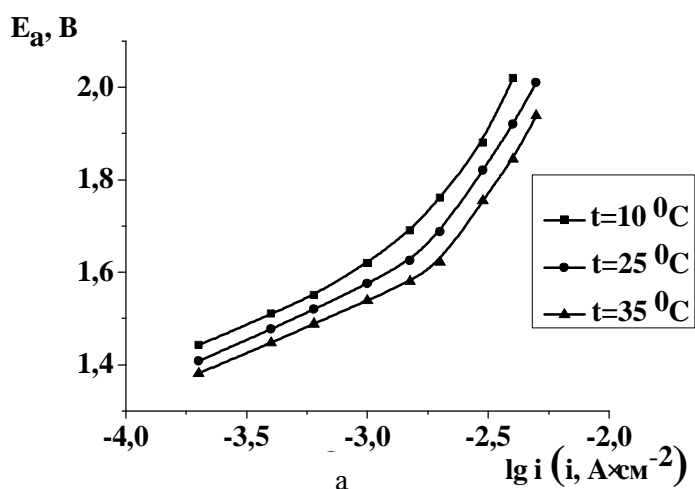


Рисунок – Анодные поляризационные кривые на ОРТА в растворах NaCl с концентрацией ( $\text{г}\cdot\text{экв}\cdot\text{дм}^{-3}$ ): а –  $0,01$ ; б –  $0,05$

Результаты исследования показывают значительное влияние концентрации хлорида натрия на кинетику анодного процесса. Увеличение концентра-

ции хлорида натрия приводит к снижению перенапряжения анодного процесса и увеличению прямолинейного участка поляризационной зависимости, на котором лимитирующей стадией анодного процесса является стадия электрохимического разряда.

Область окончания электрохимического контроля анодного процесса переходит в область, в которой лимитирующим процессом является диффузионный контроль по хлорид ионам. Зона перехода определяет максимально возможную плотность тока выделения хлора в этих условиях. Значения плотности тока для исследуемых концентраций хлорида натрия и температур от 283 К до 308 К приведены в табл. 1.

Таблица 1

Предельные анодные плотности тока ( $A \cdot m^{-2}$ ) в зависимости от содержания хлорид ионов и температуры электролиза

Содержание $Cl^-$ , $г \cdot экв \cdot дм^{-3}$	Температура электролиза, К		
	283	298	308
0,01	5,7	9,1	14,0
0,02	6,5	11,7	16,1
0,03	9,2	14,8	18,1
0,05	12,4	25,4	30,1

Из приведенных, в табл. 1, данных можно с уверенностью говорить о существенном влиянии хлорид ионов на процесс образования хлора, который в результате гидролиза образует соединения активного хлора. Также данные таблицы 1 позволяют установить скорость протекания процесса обработки для каждого конкретного случая содержания хлорид ионов в обрабатываемой воде. Влияние температуры проиллюстрировано на рисунке. Повышение температуры от 283 К до 308 К приводит к существенному росту скорости анодного процесса. Так при значении анодного потенциала 1,5 В показаны в табл. 2.

Таблица 2

Влияние температуры электролиза на скорость анодного процесса при обеззараживании воды ( $E_a = 1,5 В$ )

Температура, К	Концентрация хлорида натрия, $г \cdot экв \cdot дм^{-3}$	
	0,01	0,05
283	3,7	9,4
298	5,1	15,3
308	6,9	23,9

Однако, повышение температуры обрабатываемой воды не является однозначным так как нагрев воды выше 313 К приводит к разложению гипохлорита натрия [7]. Снижение температуры с одной стороны делает растворы более стабильными и тормозит побочный процесс – выделение кислорода, но с другой стороны увеличивает удельное сопротивление электролита, что приводит к увеличению омической составляющей падения напряжения в электролизере и таким образом способствует разложению гипохлорита натрия. Однако, как видно из табл. 2 повышение температуры (не превышающее 313 К) позволяет скомпенсировать концентрационные ограничения и за счет этого повысить рабочие плотности тока.

### **Выводы.**

Предложена конструкция электродного блока проточного типа для обеззараживания воды. Показана возможность проведения процесса обеззараживания воды путем электролиза за счет природного солесодержания.

В исследуемом диапазоне температур 283 ... 308 К и концентраций хлорид иона – 0,01 ... 0,05 г·экв·дм<sup>-3</sup> определены предельно допустимые рабочие плотности тока. Разработаны технологические параметры обеззараживания природной воды в зависимости от солесодержания и температуры прямым электролизом с использованием без диафрагменного проточного электродного блока.

**Литература:** 1. Гринберг В.А. Электрохимическое получение в проточном электролизере растворов гипохлорита натрия медицинского назначения / В.А. Гринберг, А.М. Скундин, Е.К. Тусеева // Электрохимия. – 2001. – Т. 37, № 4. – С. 500 – 504. 2. Баштан С.Ю. Электрохімічна очистка води в апаратах з розділювальною керамічною мембраною : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.21 «Технологія водоочищення» / С.Ю. Баштан. –К., 2009. – 20 с. 3. Гончарук В.В. Электрохимическое обеззараживание морской воды в плавательном бассейне / В.В. Гончарук, С.Ю. Баштан, Р.Д. Чеботарева // Химия и технология воды. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 334 – 341. 4. Гончарук В.В. Умягчение воды в электролизере с керамической мембраной / [В.В. Гончарук, Р.Д. Чеботарева, В.А. Багрий и др.] // Химия и технология воды. – 2005. – Т. 27, № 5. – С. 460 – 470. 5. Баштан С.Ю. Получение гипохлорита натрия в электролизере с керамической мембраной / [С.Ю. Баштан, В.В. Гончарук, Р.Д. Чеботарева и др.] // Электрохимия. – 2001. – Т. 37, № 8. – С. 912 – 915. 6. Баштан С.Ю. Химическая стойкость и электропроводность керамической мембран в водных растворах / С.Ю. Баштан, В.В. Гончарук, Р.Д. Чеботарева // Химия и технология воды. – 2001. – Т. 23, № 1. – С. 54 – 63. 7. Якименко Л.М. Электрохимический синтез неорганических соединений / Л.М. Якименко, Г.А. Серышев. – М. : Химия, 1984. – 160 с.

*Надійшла до редколегії 17.11.09*