

Коржов А.Н.¹, Лоза С.А.¹, Мугтамов О.А.¹, Коржова М.А.², Гузик Т.В.²

- 1 - "Кубанский государственный университет" (ФГБОУ ВО «КубГУ»),
Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
2 - Кубанский государственный технологический университет, 350072,
Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2
e-mail: *shtrih_ooo@mail.ru*

ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

Ключевые слова: обратный электродиализ, ионообменная мембрана, электропроводность, диффузионная проницаемость.

В последнее время в следствии постоянного роста энергопотребления растет интерес к альтернативным источникам энергии. Одним из перспективных направлений в энергетике, с использованием бароэлектромембранных технологий, является обратный электродиализ (RED), основанный на преобразовании градиента солёности в электроэнергию. Примером может служить градиент концентрации, который наблюдается, при смешивании соли морской и речной воды в мембранной ячейке, в которой их потоки разделены полимерными ионселективными мембранами к образованию разности потенциалов на мембранной ячейке.

При определении мощностных характеристик RED большую роль играют гидродинамический режим в каналах аппарата, межмембранное расстояние в камере с пресной водой, состав раствора, выбор редокс-систем, температура и главным образом свойства мембран [1].

Одним из ключевых свойств мембран является их селективность. Мощность процесса обратного электродиализа определяется сопротивлением и величиной потенциала разомкнутой цепи (OCV), которая с учётом селективности рассчитывается по уравнению:

$$E^{OCV} = N \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{c_b \gamma_b^{\pm}}{c_d \gamma_d^{\pm}} \right) \left(\frac{T_{CEM}^+ - t^+}{1 - t^+} + \frac{T_{CEM}^- - t^-}{1 - t^-} \right) \quad (1)$$

где T_{CEM}^+ , T_{CEM}^- это число переноса противоиона в катионообменной и анионообменной мембране; t^+ , t^- это число переноса противоиона для данной мембраны в растворе, N - число парных камер в мембранном пакете.

Селективность мембран можно определить, зная значения числа переноса противоиона в мембране. Использование микрогетерогенной модели позволяет рассчитать истинные числа переноса ионов через ионообменную мембрану, зная концентрационные зависимости электропроводности и диффузионной проницаемости.

Объектами исследования являлись российские гетерогенные ионообменные мембраны МК-40, МА-41, МА-40 (Shchekinoazot, Russia), чешские гетерогенные ионообменные мембраны Ralex CM, Ralex AMH (Mega a.s., Czech Republic). Для мембран МК-40, Ralex AMH, Ralex CM были выбраны два образца представляющие мембраны различных партий и годов выпуска.

Для исследования электропроводности мембран использовался ртутно-контактный метод [2]. Диффузионная проницаемость рассчитывалась с использованием непроточной двухкамерной ячейки. Согласно микрогетерогенной модели числа переноса определяются совместным действием двух факторов – электропроводности мембраны и её диффузионной проницаемости, которые зависят друг от друга. Вследствие этого электромиграционные числа переноса могут быть рассчитаны следующим уравнением:

$$t_g^* = \frac{L_g}{L_g + L_{co}} \quad (2)$$

где L_g и L_{co} являются коэффициентами электродиффузии переноса ионов. Их значения определяются с использованием следующих соотношений.

В установке, показанной на рисунке 1, состоящей из чередующихся катионо- и анионообменных мембран, между которыми протекает соленая и пресная вода, на мембранах возникает разность потенциалов, которая суммируется и может быть использована в качестве источника энергии. Для преобразования ионного тока в электричество в электродных камерах должна происходить окислительно-восстановительная реакция. Термодинамические расчеты показывают, что при смешивании 1 м³ речной воды (концентрация - 1 г/л NaCl) с 1 м³ морской воды (30 г/л NaCl) можно получить 1,4 МДж энергии (эквивалентно 0,4 кВт*ч). Можно увеличить мощность путем использования более соленой воды, морская. В случае смешивания 1 м³ насыщенного рассола NaCl (350 г/л NaCl) и 1 м³ речной воды можно получить приблизительно 17 МДж (эквивалентно 4,7 кВт*ч). Теоретически, 2400 ГВт электроэнергии может быть получено путем смешивания всех стоков речных вод на Земле с морской водой, из которых

технически можно получить 1000 ГВт. Основной проблемой, препятствующей массовому использованию метода обратного электродиализа, является большое внутреннее электрическое сопротивление ячейки, что ограничивает получаемую мощность.

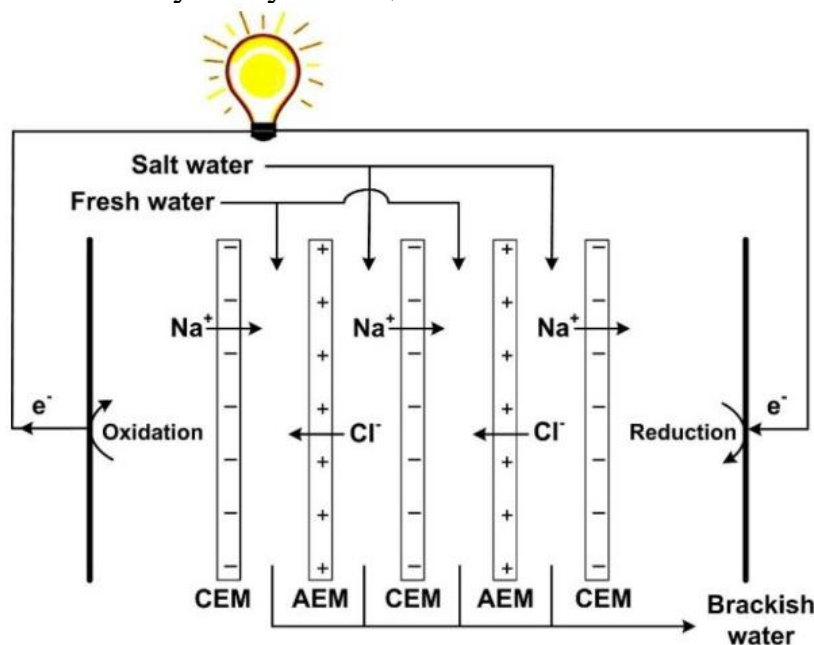


Рис. 1 - Схема обратного электродиализа (RED) [3]

Так же в настоящей работе показана возможность использования микрогетерогенной модели для описания свойств ионообменных мембран и расчёта характеристик обратного электродиализатора с использованием полученных данных. Были изучены свойства восьми образцов гетерогенных катионообменных мембран. Показано, что для гетерогенных ионообменных мембран МК-40 и МА-41 свойства образцов могут отличаться в значительной степени. Отличаются как электропроводность, так и диффузионная проницаемость, что в итоге приводит к широкому разбросу полученных значений чисел переноса противоионов. Для мембран Ralex столь существенных различий между различными образцами не наблюдалось. Возможность расчёта чисел переноса и предсказания на этой основе потенциала разомкнутой цепи позволит в дальнейшем отбирать лучшие мембранные пары для процесса обратного электродиализа на основании измерения их физико-химических характеристик [4-5]. Полученные при этих измерениях данные по электропроводности ионообменных мембран также могут быть использованы для расчёта омических составляющих внутреннего сопротивления электродиализатора. Проведён расчёт удельной мощности обратного электродиализатора. Результаты расчёта показали хорошее согласие с полученными экспериментальными ре-

зультатами. На основе полученных результатов исследования разработаны рекомендации по использованию имеющихся в литературе данных по электропроводности и диффузионной проницаемости ионообменных мембран для выбора лучшей мембранной пары для процесса обратного электродиализа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ проект госзадание FZEN-2023-0006 23/20Т.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ran, J.; Wu, L.; He, Y.; Yang, Z.; Wang, Y.; Jiang, C.; Ge, L.; Bakangura, E.; Xu, T. Ion exchange membranes: New developments and applications. *J. Memb. Sci.* - 2017, T.522, 267–291.

2. Karpenko, L.V.; Demina, O.A.; Dvorkina, G.A.; Parshikov, S.B.; Larchet, C.; Auclair, B.; Berezina, N.P. Comparative Study of Methods Used for the Determination of Electroconductivity of Ion-Exchange Membranes. *Russ. J. Electrochem.* - 2001, T.37, 287–293.

3. S A Loza, A N Korzhov, N V Loza and N A Romanyuk, Energy generation by reverse electrodialysis / IV International Scientific and Technical Conference “Energy Systems” // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. T.791 – 012057, doi:10.1088/1757-899X/791/1/012057.

4. Davydov D. Use of the microheterogeneous model to assess the applicability of ion-exchange membranes in the process of generating electricity from a concentration gradient / D. Davydov, E. Nosova, S. Loza, A. Achoh, A. Korzhov, M. Sharafan, S. Melnikov // *Membranes*. – 2021. – T, 11. - № 6 - DOI: [10.3390/membranes11060406](https://doi.org/10.3390/membranes11060406).

5. Davidov, D.V. Using a microheterogeneous model to assess the applicability of ion-exchange membranes in the process of reverse electrodialysis / D. V. Davidov, E. N. Nosova, S. A. Loza, A. R. Achoh, A.N. Korzhov, S. S. Melnikov // *Chimica Techno Acta*. – 2021. – V. 8(2). – № 20218205.