

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ И ОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМЕМБРАННОЙ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СТОКОВ ОТ ИОНОВ NH_4^+ , Zn^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}

Д. Н. Коновалов, С. В. Ковалев, С. И. Лазарев,
П. Луа, П. Н. Бернацкий, В. Д. Прохоренков

*Кафедра «Механика и инженерная графика»,
geometry@mail.nnn.tstu.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

Ключевые слова: гальваническое производство; мембрана; разделение; раствор; трансмембранное давление; электрический потенциал.

Аннотация: Приведен анализ литературных данных по вольт-амперным характеристикам (ВАХ) электромембранных систем при обработке технологических растворов различных производств применительно к ионообменным материалам. Отмечено, что недостаточно исследованными являются электромембранные системы, содержащие пористые полупроницаемые полимерные мембраны. Представлены результаты экспериментальных исследований по ВАХ, омическим характеристикам и электропроводности мембранной системы, оснащенной прианодной ОФАМ-К и прикатодной ОПМН-П мембранами при разделении модельного и технологического растворов, содержащих ионы NH_4^+ , Zn^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Показано, что при исследовании мембранных систем, оснащенных пористыми мембранами, при действии напряжения и трансмембранного давления при обработке модельного раствора (нитрата аммония и сульфата калия) отмечается два характерных периода на ВАХ (запредельный режим, деградация активного слоя мембраны).

Для промышленных машиностроительных (гальванических) производств и предприятий по производству минеральных удобрений, расположенных на территории Центрально-Черноземного региона, проблема внедрения современных методов очистки и разделения технологических и промышленных растворов и сточных вод является востребованной и актуальной, так как существует целенаправленная позиция по модернизации устаревающих производств. Широкое применение процессов электромембранного разделения технологических растворов в различных отраслях промышленности (химической, машиностроительной, биохимической и др.) ограничено необходимостью предварительной лабораторной проработки конкретных жидкостей, содержащих те или иные катионы и анионы веществ. Например, содержание в технологических жидкостях, наряду с основными солями, солей жесткости (кальция и магния) накладывает определенные ограничения на применение процессов электромембранного разделения подобных растворов [1 – 3]. Особенно это актуально в технологических схемах очистки сточных вод, например, процесса цинкования и производств минеральных удобрений, так как общий сток подобных производств содержит кислотнo-щелочные, цианистые и хромсодержащие растворы, в которые, как правило, попадают моечные растворы из душевых и котельных помещений.

В данной статье сделан акцент на перспективность применения не электро-мембранных, а электробаромембранных процессов, точнее электронанофильтрации, где в качестве пористых мембран применяются нанофильтрационные, здесь основные движущие силы – разница электрических потенциалов и трансмембранное давление. В связи с такими особенностями, цель работы – исследование и анализ вольт-амперных, омических характеристик электробаромембранных систем и электропроводности при разделении растворов, содержащих ионы NH_4^+ , Zn^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} .

Модельные жидкости с содержанием компонентов подобных солей в технологических жидкостях реальных промышленных производств встречаются в процессах гальванопокрытий и производств минеральных удобрений.

Анализ литературных данных по вольт-амперным характеристикам (ВАХ) электромембранных систем при обработке технологических растворов различных производств представлен в литературе [4 – 12].

В работе [4] приведены результаты исследований электродиализного разделения технологических жидкостей алкилароматической аминокислоты. В рассматриваемых концентрациях алкилароматической аминокислоты не наблюдается большого влияния на конечные параметры по неорганическим ионам, что подтверждается ВАХ анионообменных мембран. Несмотря на это, увеличение аминокислоты вносит изменения в длину плато на ВАХ из-за небольшого изменения мембраны в аминокислотную форму, которое уменьшает мембранную электропроводность и адсорбции ароматического соединения на поверхности. Замечено изменение зависимостей потоков алкилароматической аминокислоты и pH в секции большей концентрации со стороны анионообменной мембраны от плотности тока при электродиализе: максимальный поток фенилаланина (тирозина) и первый изгиб на ВАХ соответствует увеличению pH.

В литературе [5] дано описание изготовления композитных мембран на основе ионообменной мембраны МФ-4СК и полианилина с анизотропной структурой и различными ВАХ в результате воздействия внешнего электрического поля. В процессе изучения поведения композитных мембран получено, что при возрастании плотности тока при синтезе полианилина проводимость уменьшается, увеличивается гистерезис на циклической вольт-амперной кривой, растет асимметрия параметров ВАХ и появляется псевдопредельный ток, возникающий в связи с внутренней биполярной границей.

Исследованию электропроводности ионообменных отечественных и зарубежных мембран при обработке технологических растворов заданной концентрации посвящена работа [6], где показаны теоретические оценки по электропроводности подобных мембран в широком диапазоне концентраций исследуемых жидкостей.

Электродиализ в опытных и промышленных производствах веществ для лекарственных средств и биопрепаратов [7] является перспективной и высоко эффективной технологией в технических подходах к вопросам очистки получаемых реакционных растворов фармацевтических продуктов, требующих создания более экономичных, экологически чистых и интенсифицированных технологических процессов. Применение электродиализной технологии в производстве таурина позволило существенно модернизировать технологический процесс. Улучшение процесса очистки в производстве туберкулина и октанатриевой соли октакарбок-сифталоцианина кобальта возможно при электродиализе. Электродиализное получение аминокислоты позволяет выделять дорогостоящий продукт из производственных растворов до 65 – 70 %.

В источнике [8] приведены экспериментальные исследования массообменных характеристик пилотного модуля EDC-II/125 и лабораторной ячейки EDC-Y, которые применяются в технологической схеме по переработке сокового пара

аммиачной селитры. На основе параметров, полученных на лабораторной ячейке, с использованием метода компартиментации можно проектировать массообменные характеристики промышленных электродиализаторов-концентраторов с гидравлически замкнутыми камерами концентрирования.

В работе [9] приведены итоги электродиализных экспериментов азотсодержащих сточных вод АО «Минудобрения» (г. Россошь, Воронежская обл.). В результате исследований определена проходимость ионов аммония и нитрат-ионов через ионообменные мембраны, получены энергетические характеристики процесса. Выведены оптимальные условия электродиализной очистки.

Электропроводность гетерогенных катионо- и анионообменных мембран МК-40 и МА-41 в растворе нитрата аммония при различных концентрациях рассмотрена в литературе [10]. Для проведения исследований определен контактно-разностный метод замеров электросопротивления ионообменных мембран, позволяющий экспериментировать с малыми концентрациями внешнего равновесного раствора. Полученные электропроводности при низкой концентрации позволили вычислить коэффициенты диффузии ионов аммония и нитрат-ионов в мембранах. Также определены доли проводимости гелевой и межгелевой фаз при использовании микрогетерогенной двухфазной модели строения ионообменного материала.

Основу для определения микроструктуры неоднородных образцов составляет зависимость электропроводности ионообменных материалов при различных концентрациях. На расположение путей проводимости в композитном ионообменном материале влияет природа противоиона. Электропроводность гетерогенных катионо- и анионообменных мембран МК-40, МК-41, Ralex CM(H)-PP, МА-41, Ralex AM(H)-PP в растворах нитрата аммония, нитрата калия и хлорида аммония рассмотрена в литературе [11].

При проектировании технологической схемы переработки методом электродиализа конденсата сокового пара (КСП) сформулирована задача осуществления безреагентной и бессточной технологии, в которой обессоленный раствор возвращается в оборотную систему водоснабжения предприятия и для подпитки котлов, а концентрат используется при производстве жидких удобрений. Для этого уровень минерализации очищенной воды должен быть не более 0,003 г/л, а концентрат – 50...150 г/л [12].

Результатом проведенных экспериментов является схема, в которой предельное электрохимическое концентрирование и глубокая деминерализация КСП обеспечивается за счет использования электродиализаторов различной конструкции – ЕБ-П производства АО «МЕГА» (Чешская Республика) и насадочных ЭДН-1 и ЭДН-2 производства ООО Инновационное предприятие «Мембранная технология» (г. Краснодар, Россия), а процессы деминерализации и концентрирования проводятся в две ступени на трех группах указанных электродиализаторов [12].

Таким образом, с увеличением минерализации электролита и, в большей мере с ростом плотности тока, повышается уровень минерализации концентрата. При электродиализе имеет место преимущественный перенос аммиачной селитры по сравнению с гидроокисью аммония, что приводит к подщелачиванию раствора и играет положительную роль при нейтрализации азотной кислоты в периоды поступления на переработку кислого конденсата. Данная технология обеспечивает надежное уменьшение соледержания конденсата до величины около 0,002...0,020 г/л с одновременным получением концентрированного раствора с минерализацией 105...170 г/л. Общая удельная энергоёмкость электродиализного процесса на всех ступенях не превышает 4 кВт·ч/м³ конденсата [12].

Вольт-амперные характеристики мембранной системы, оснащенной прианодной ОФАМ-К и прикатодной ОПМН-П мембранами при разделении модельного и технологического растворов, показаны на рис. 1.

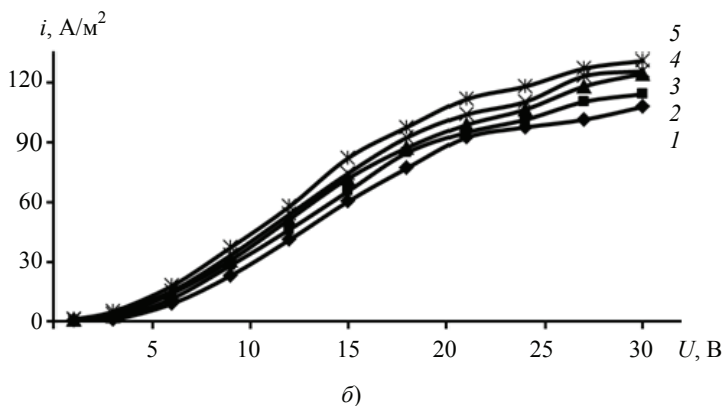
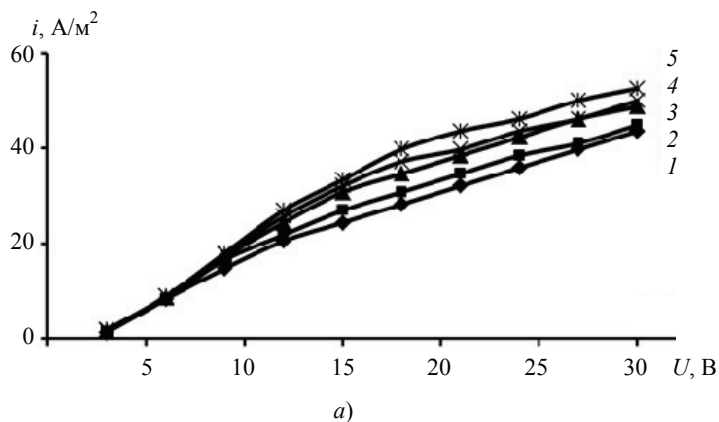


Рис. 1. Зависимости вольт-амперных характеристик мембранной системы, оснащенной прианодной ОФАМ-К и прикатодной ОПМН-П мембранами, при разделении водного раствора, содержащего нитрат аммония ($c = 0,4 \text{ кг/м}^3$) и сульфат калия ($c = 0,04 \text{ кг/м}^3$) (а), и технологического раствора гальванического производства АО «ТАГАТ» имени С. И. Лившица (б) от трансмембранного давления P , МПа: 1 – 1,0; 2 – 1,2; 3 – 1,7; 4 – 2,0; 5 – 2,4

Омические характеристики и электропроводность изучаемой экспериментально системы, оснащенной двумя мембранами ОФАМ-К и ОПМН-П, представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

Экспериментальные исследования мембранных систем, оснащенных прианодной ОФАМ-К и прикатодной ОПМН-П мембранами (см. рис. 1, а, 2, а, 3, а), в зависимости от напряжения и трансмембранного давления выявили, что для модельного раствора (нитрата аммония и сульфата калия) отмечаются два характерных периода на вольт-амперных, омических характеристиках и электропроводности (первый период – запредельный режим, диссоциация воды (H^+ и OH^-) на границе раздела фаз с появлением дополнительных переносчиков электрического тока, второй – деградация активного слоя полупроницаемой мембраны).

Для технологического (промышленного) раствора гальванического производства АО «ТАГАТ» имени С. И. Лившица (см. рис. 1, б, 2, б, 3, б) отмечаются четыре характерных периода на вольт-амперных, омических характеристиках и электропроводности (участок возрастания омического сопротивления [13], участок плато, запредельный режим и деградация активного слоя полупроницаемой мембраны ОПМН-П, при изменении рН (рис. 4) прикатодных и прианодных пермеатов).

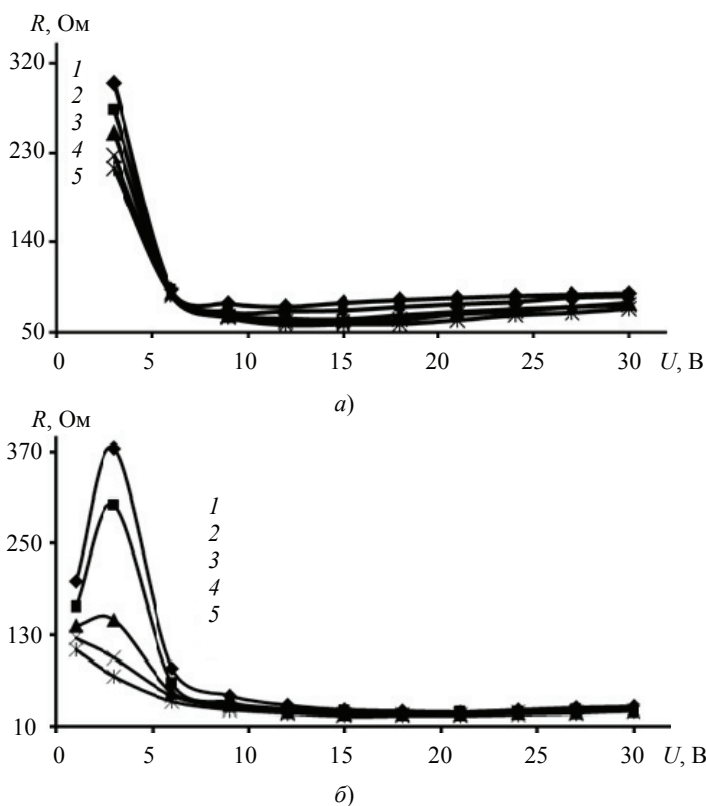


Рис. 2. Зависимости омических характеристик мембранной системы, оснащенной прианодной ОФАМ-К и прикатодной ОПМН-П мембранами, при разделении водного раствора, содержащего нитрат аммония ($c = 0,4 \text{ кг/м}^3$) и сульфат калия ($c = 0,04 \text{ кг/м}^3$) (а), и технологического раствора гальванического производства АО «ТАГАТ» имени С. И. Лившица (б) от напряжения и трансмембранного давления P , МПа: 1 – 1,0; 2 – 1,2; 3 – 1,7; 4 – 2,0; 5 – 2,4

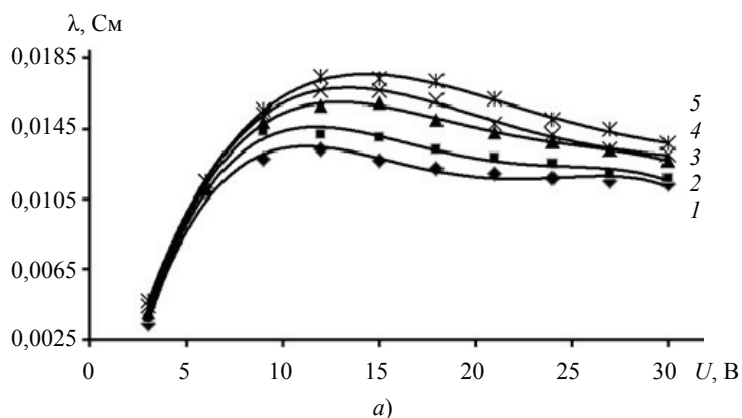


Рис. 3. Зависимости электропроводности мембранной системы, оснащенной прианодной ОФАМ-К и прикатодной ОПМН-П мембранами, при разделении водного раствора, содержащего нитрат аммония ($c = 0,4 \text{ кг/м}^3$) и сульфат калия ($c = 0,04 \text{ кг/м}^3$) (а), и технологического раствора гальванического производства АО «ТАГАТ» имени С. И. Лившица (б) от напряжения и трансмембранного давления P , МПа (начало): 1 – 1,0; 2 – 1,2; 3 – 1,7; 4 – 2,0; 5 – 2,4

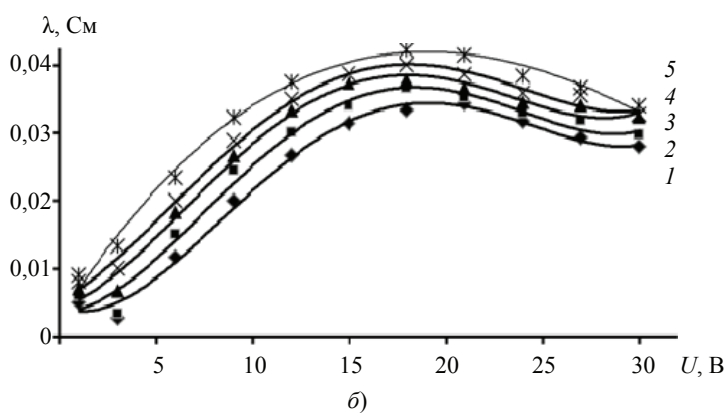


Рис. 3. Продолжение:
1 – 1,0; 2 – 1,2; 3 – 1,7; 4 – 2,0; 5 – 2,4

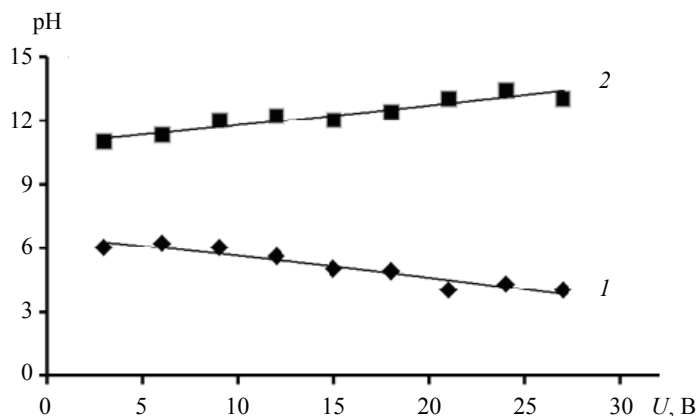


Рис. 4. Зависимость величины pH пермеата для прианодной ОФАМ-К (1), прикатодной ОПМН-П (2) мембран от напряжения при постоянном трансмембранном давлении $P = 1,6$ МПа при разделении технологического раствора гальванического производства АО «ТАГАТ» имени С. И. Лившица

С увеличением трансмембранного давления в диапазоне напряжения 3...30 В при исследовании ВАХ мембранной системы, оснащенной прианодной ОФАМ-К и прикатодной ОПМН-П мембранами, при разделении модельного и технологического растворов отмечается уменьшение общего омического сопротивления системы, что связано с процессом дросселирования раствора.

Список литературы

1. Шапошник, В. А. Явления переноса в ионообменных мембранах / В. А. Шапошник, В. И. Васильева, О. В. Григорчук. – М. : МФТИ, 2001. – 200 с.
2. Некоторые особенности выделения ионов из промывных вод производства альтакса электрогиперфильтрационным методом / С. И. Лазарев [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 24, № 3. – С. 461 – 470. doi: 10.17277/vestnik.2018.04.pp.461-470
3. Совершенствование конструкции и исследования электробаромембранного аппарата рулонного типа для разделения технологических растворов / С. И. Лазарев [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 24, № 4. – С. 635 – 641. doi: 10.17277/vestnik.2019.04.pp.635-641

4. Елисеева, Т. В. Особенности вольт-амперных и транспортных характеристик анионообменных мембран при электродиализе растворов, содержащих алкилароматическую аминокислоту и минеральную соль / Т. В. Елисеева, А. Ю. Харина // Электрохимия. – 2015. – Т. 51, № 1. – С. 74 – 80. doi: 10.7868/S0424857015010041

5. Влияние поверхностного модифицирования перфторированных мембран полианилином на их поляризационное поведение / Н. В. Лоза [и др.] // Электрохимия. – 2015. – Т. 51, № 6. – С. 615 – 623. doi: 10.7868/S0424857015060146

6. Демина, О. А. Модельное описание электропроводности ионообменных мембран в широком диапазоне концентраций раствора электролита / О. А. Демина, И. В. Фалина, Н. А. Кононенко // Электрохимия. – 2015. – Т. 51, № 6. – С. 641 – 645. doi: 10.7868/S0424857015060055

7. Конарев, А. А. Использование электродиализа в опытном и промышленном производствах фармацевтических субстанций / А. А. Конарев // Электрохимия. – 2015. – Т. 51, № 12. – С. 1263 – 1274. doi: 10.7868/S0424857015110055

8. Заболоцкий, В. И. Прогнозирование массообменных характеристик промышленных электродиализаторов-концентраторов / В. И. Заболоцкий, С. С. Мельников, О. А. Демина // Электрохимия. – 2014. – Т. 50, № 1. – С. 38 – 44. doi: 10.7868/S0424857014010101

9. Электродиализ в очистке азотсодержащих сточных вод предприятия по производству минеральных удобрений / С. И. Нифталиев [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2014. – № 7. – С. 52 – 56.

10. Структурно-кинетические параметры ионообменных мембран МК-40 и МА-41 в растворах нитрата аммония / С. И. Нифталиев [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2015. – Т. 15, № 5. – С. 708 – 713.

11. Изучение процесса переноса тока в системе гетерогенная ионообменная мембрана – раствор нитрата аммония / С. И. Нифталиев [и др.] // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2016. – Т. 18, № 2. – С. 232 – 240.

12. Заболоцкий, В. И. Комплексная электродиализная технология переработки конденсата сокового пара производства аммиачной селитры / В. И. Заболоцкий, В. Ф. Письменский, С. И. Етеревскова [и др.] // Материалы Российских конф. с междунар. участием «Ионный перенос в органических и неорганических мембранах. Электромембранные технологии на базе фундаментальных исследований явлений переноса», 19 – 25 мая 2008 г., Туапсе. – Краснодар, 2008. – С. 109 – 111.

13. Акберова, Э. М. Влияние температурной модификации сульфокатионообменной мембраны на развитие электроконвективной нестабильности при сверхпредельных токовых режимах / Э. М. Акберова, В. И. Васильева, М. Д. Малыхин // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2015. – Т. 17, № 3. – С. 273 – 280.

Volt-Ampere and Ohmic Characteristics of Electro-Membrane Cleaning of Galvanic Drains from Ions NH_4^+ , Zn^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}

D. N. Konovalov, S. V. Kovalev, S. I. Lazarev,
P. Lua, P. N. Bernatsky, V. D. Prokhorenkov

*Department of Mechanics and Engineering Graphics, geometry@mail.nnn.tstu.ru;
TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: galvanic production; membrane; separation; solution; transmembrane pressure; electric potential.

Abstract: The analysis of literature data on volt-ampere (I-V) characteristics of electro-membrane systems in the processing of technological solutions of various industries as applied to ion-exchange materials is presented. It is noted that electromembrane systems containing porous semipermeable polymer membranes are not sufficiently studied. The results of experimental studies on the I-V characteristics, ohmic characteristics, and electrical conductivity of a membrane system equipped with an anode OFAM-K and cathode OPMN-P membranes during the separation of model and technological solutions containing NH_4^+ , Zn^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} ions are presented. It is noted that when studying membrane systems equipped with porous membranes under the action of voltage and transmembrane pressure during the treatment of a model solution (ammonium nitrate and potassium sulfate), two characteristic periods are observed on the I-V characteristic (transcendental mode, degradation of the active membrane layer). For the industrial solution of the galvanic production of TAGAT JSC named after S. I. Livshits, four characteristic periods are observed on the I-V characteristic (increase in ohmic resistance, plateau region, transcendental regime and degradation of the active layer of the semipermeable membrane of OPMN-P, with a change in pH of the near-cathode and anode permeates). It is noted that with an increase in transmembrane pressure in the voltage range of 3...30 V, when studying the I-V characteristics of a membrane system equipped with porous membranes, when separating model and technological solutions, a decrease in the total ohmic resistance of the system, which is associated with the solution throttling process, is observed.

References

1. Shaposhnik V.A., Vasil'yeva V.I., Grigorochuk O.V. *Yavleniya perenosa v ionoobmennyykh membranakh* [Transport phenomena in ion-exchange membranes], Moscow: MFTI, 2001, 200 p. (In Russ.)
2. Lazarev S.I., Kovalev S.V., Kononov D.N., Kuznetsov M.A., Polikarpov V.M., Zarapina I.V. [Some features of the separation of ions from washing water of the production of altax by the electrohyperfiltration method], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2018, vol. 24, no. 3, pp. 461-470, doi: 10.17277/vestnik.2018.04.pp.461-470 (In Russ., abstract in Eng.)
3. Lazarev S.I., Kovalev S.V., Kononov D.N., Kuznetsov M.A., Polikarpov V.M., Arzamastsev A.A. [Improving the design and research of the roll-type electro-baromembrane apparatus for the separation of technological solutions], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2018, vol. 24, no. 4, pp. 635-641, doi: 10.17277/vestnik.2019.04.pp.635-641 (In Russ., abstract in Eng.)
4. Yeliseyeva T.V., Kharina A.Yu. [Features of current-voltage and transport characteristics of anion-exchange membranes during electro dialysis of solutions containing alkyl aromatic amino acid and mineral salt], *Elektrokhimiya* [Electrochemistry], 2015, vol. 51, no. 1, pp. 74-80. doi: 10.7868/S0424857015010041 (In Russ., abstract in Eng.)
5. Loza N.V., Dolgoplov S.V., Kononenko N.A., Andreyeva M.A., Korshikova Yu.S. [The effect of surface modification of perfluorinated membranes with polyaniline on their polarization behavior], *Elektrokhimiya* [Electrochemistry], 2015, vol. 51, no. 6, pp. 615-623. doi: 10.7868/S0424857015060146 (In Russ., abstract in Eng.)
6. Demina O.A., Falina I.V., Kononenko N.A. [Model description of the electrical conductivity of ion-exchange membranes in a wide range of concentrations of an electrolyte solution], *Elektrokhimiya* [Electrochemistry], 2015, vol. 51, no. 6, pp. 641-645, doi: 10.7868/S0424857015060055 (In Russ., abstract in Eng.)
7. Konarev A.A. [The use of electro dialysis in experimental and industrial production of pharmaceutical substances], *Elektrokhimiya* [Electrochemistry], 2015, vol. 51, no. 12, pp. 1263-1274, doi: 10.7868/S0424857015110055 (In Russ., abstract in Eng.)

8. Zabolotskiy V.I., Mel'nikov S.S., Demina O.A. [Prediction of mass transfer characteristics of industrial electro dialyzers-concentrators], *Elektrokhimiya* [Electrochemistry], 2014, vol. 50, no. 1, pp. 38-44, doi: 10.7868/S0424857014010101 (In Russ., abstract in Eng.)

9. Niftaliyev S.I., Kozaderova O.A., Kim K.B., Malyavina Yu.M. [Electrodialysis in the purification of nitrogen-containing wastewater of a mineral fertilizer manufacturing enterprise], *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya* [Chemical industry today], 2014, no. 7, pp. 52-56. (In Russ., abstract in Eng.)

10. Niftaliyev S.I., Kozaderova O.A., Vlasov YU.N., Kim K.B., Matchina K.S. [Structural and kinetic parameters of MK-40 and MA-41 ion-exchange membranes in solutions of ammonium nitrate], *Sorbtsionnyye i khromato-graficheskiye protsessy* [Sorption and chromatographic processes], 2015, vol. 15, no. 5, pp. 708-713. (In Russ., abstract in Eng.)

11. Niftaliyev S.I., Kozaderova O.A., Kim K.B., Matchina K.S. [Studying the process of current transfer in a heterogeneous ion-exchange membrane - ammonium nitrate system], *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy* [Condensed media and interphase boundaries], 2016, vol. 18, no. 2, pp. 232-240. (In Russ.)

12. Zabolotskiy V.I., Pis'menskiy V.F., Yeterevskova S.I. [et al.] *Materialy Rossiyskikh konferentsiy s mezhdunarodnym uchastiyem «Ionnyy perenos v organicheskikh i neorganicheskikh membranakh. Elektromembrannyye tekhnologii na baze fundamental'nykh issledovaniy yavleniy perenos»* [Materials of Russian conferences with international participation "Ion transfer in organic and inorganic membranes. Electro-membrane technologies based on fundamental research of transport phenomena"], 19 - 25 May, 2008, Tuapse, Krasnodar, 2008, pp. 109-111. (In Russ.)

13. Akberova E.M., Vasil'yeva V.I., Malykhin M.D. [Influence of the temperature modification of the sulfocation-exchange membrane on the development of electroconvective instability under super-limiting current conditions], *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy* [Condensed Matter and Interphase Boundaries], 2015, vol. 17, no. 3, pp. 273-280. (In Russ., abstract in Eng.)

Volt-ampere und ohmsche Eigenschaften der Elektromembranreinigung der galvanischen Abwässer von den Ionen NH_4^+ , Zn^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}

Zusammenfassung: Es ist eine Analyse der literarischen Daten über die Volt-Ampere-Charakteristiken (VAC) von Elektromembransystemen bei der Verarbeitung der technologischen Lösungen verschiedener Produktionen in Bezug auf Ionenaustauschmaterialien vorgestellt. Es wird darauf hingewiesen, dass Elektromembransysteme, die poröse semipermeable Polymermembranen enthalten, nicht ausreichend erforscht sind. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen nach VAC, ohmschen Eigenschaften und der elektrischen Leitfähigkeit eines mit der Anode OFAM - K und einer Kathode OPMN - P ausgestatteten Membransystems während der Trennung von Modell - und Technologielösungen mit NH_4^+ , Zn^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} - Ionen sind vorgestellt. Es ist festgestellt, dass bei der Untersuchung der mit porösen Membranen ausgestatteten Membransysteme unter Einwirkung von Spannung und Transmembrandruck bei der Behandlung einer Modelllösung (Ammoniumnitrat und Kaliumsulfat) zwei charakteristische Perioden in der VAC-Charakteristik beobachtet werden (außerordentlicher Modus, Abbau der aktiven Membranschicht). Für die industrielle Lösung der galvanischen Produktion der AE S. I. Livshits "TAGAT" werden vier charakteristische Perioden in der VAC-Charakteristik beobachtet (Zunahme des ohmschen Widerstands, Plateaubereich, außerordentlicher Modus und Abbau der aktiven Schicht der semipermeablen Membran

von OPMN-P mit einer Änderung des pH-Werts der kathoden- und anodennahen Permeate). Es wird angemerkt, dass bei dem Anstieg des Transmembrandrucks im Spannungsbereich von 3...30 V bei der Untersuchung der VAC - Eigenschaften eines mit porösen Membranen ausgestatteten Membransystems beim Trennen von Modell - und Technologielösungen eine Abnahme des gesamten ohmschen Widerstands des Systems beobachtet wird, die mit dem Lösungsdrosselungsprozess verbunden ist.

Caractéristiques Volt-ampères et ohmiques du traitement électromembrane des drains galvaniques des ions NH_4^+ , Zn^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}

Résumé: Est présentée une analyse des données littéraires sur les caractéristiques Volt-ampères (CVC) des systèmes électromembranaires dans le traitement des solutions technologiques de différentes productions en ce qui concerne les matériaux iono-changeants. Est noté que les systèmes électromembranaires contenant des membranes poly-dimensionnelles semi-perméables poreuses ne sont pas suffisamment étudiés. Sont présentés les résultats des études expérimentales sur les CVC, les caractéristiques ohmiques et la conductivité électrique du système de membrane équipée de OFAM-K anodique et de OPMN-P cathodique par les membranes lors de la division des solutions de modèle et celles technologiques contenant des ions NH_4^+ , Zn^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Sont notées deux périodes caractéristiques (régime illimité, dégradation de la couche active de la membrane). Pour la solution industrielle de la production galvanique de la SA "TAGAT" qui porte le nom de S. I. Livchitz sont notées quatre périodes caractéristiques (augmentation de la résistance ohmique, terrain du plateau, régime illimité et dégradation de la couche active de membrane semi-perméable OPMN-P lors du changement de pH des paramètres cathodiques et anodiques).

Авторы: *Лазарев Сергей Иванович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика и инженерная графика»; *Ковалев Сергей Владимирович* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Механика и инженерная графика»; *Коновалов Дмитрий Николаевич* – аспирант кафедры «Механика и инженерная графика»; *Луа Пене* – аспирант кафедры «Механика и инженерная графика»; *Бернацкий Павел Николаевич* – доктор химических наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика»; *Прохоренков Вячеслав Дмитриевич* – доктор технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Абоносимов Олег Аркадьевич* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Механика и инженерная графика», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.