

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
ЭЛЕКТРОГИПЕРФИЛЬТРАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ АНИЛИНСОДЕРЖАЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА**

С.И. Лазарев, К.С. Лазарев, О.А. Ковалева, В.Г. Казаков, А.Е. Стрельников

Сергей Иванович Лазарев *, Константин Сергеевич Лазарев, Ольга Александровна Ковалева, Вадим Геннадьевич Казаков, Александр Евгеньевич Стрельников

Кафедра прикладной геометрии и компьютерной графики, Тамбовский государственный технический университет, 392000 Тамбов, ул. Советская, 106, Российская Федерация

E-mail: sergey.lazarev.1962@mail.ru *, kosnt359@mail.ru, solomina-oa@yandex.ru, vadim090777@mail.ru, geometry@mail.nnn.tstu.ru

В работе получены данные по коэффициенту извлечения, коэффициенту задержания и величине удельного потока растворителя при электрогиперфильтрационном извлечении веществ из технологических растворов анилинсодержащего производства. Представлена интерпретация экспериментальных данных (коэффициента извлечения, коэффициента задержания и удельного потока растворителя) в зависимости от плотности тока, концентрации, природы растворенного вещества и типа полупроницаемой мембраны. Установлено, что с повышением плотности тока и концентрации серной кислоты коэффициент извлечения, коэффициент задержания по анилинсодержащим веществам возрастают. Величина удельного потока растворителя с повышением плотности тока увеличивается, а с ростом концентрации снижается. При введении в водный раствор анилина серной кислоты, коэффициент задержания увеличивается с ростом количества кислоты, вводимой в водный раствор анилина на мембранах МГА-100 и ОПМ-К, что объясняется понижением рН раствора. У слабых оснований, к которым относится анилин, при этом повышается степень диссоциации, увеличивается растворимость, уменьшается общее значение энергии Гиббса при адсорбции, что приводит к снижению сорбции анилина мембранами. Наличие в водном растворе анилина серной кислоты ведет к образованию более сложных пространственных структур, эти вещества мембраной задерживаются лучше, так как имеют более высокую степень диссоциации, лучшую растворимость в воде, больший размер молекул и обладают более разветвленной структурой. Увеличение концентрации хлорида и сульфата натрия приводит к уменьшению по ним коэффициента задержания и удельного потока растворителя через полупроницаемые мембраны типа МГА-100 и ОПМ-К.

Ключевые слова: электрогиперфильтрационный процесс; мембрана; анилинсодержащие вещества; коэффициент извлечения; очистка; сульфаниловая кислота

INVESTIGATION OF KINETIC COEFFICIENTS OF ELECTRIC HYPERFILTRATION EXTRACTION OF CHEMICAL SUBSTANCES FROM ANILINE-CONTAINING MANUFACTURING PROCESS SOLUTIONS

S.I. Lazarev, K.S. Lazarev, O.A. Kovaleva, V.G. Kazakov, A.E. Strelnikov

Sergey I. Lazarev *, Konstantin S. Lazarev, Olga A. Kovaleva, Vadim G. Kazakov, Alexandr E. Strelnikov
Department of Applied Geometry and Computer Graphics, Tambov State Technical University, Sovetskaya st.,
106, Tambov, 392000, Russia
E-mail: sergey.lazarev.1962@mail.ru *, kosnt359@mail.ru, solomina-oa@yandex.ru, vadim090777@mail.ru,
geometry@mail.nnn.tstu.ru

The data on extraction factor, hindrance factor and solvent specific flow value during electric hyperfiltration extraction of substances from aniline-containing manufacturing process solutions are obtained in this study. The interpretation of experimental materials (extraction factor, hindrance factor and solvent specific flow) in a dependence on current density, concentration, nature of dissolved substance and semipermeable membrane type is presented as well. It was established that extraction factor and hindrance factor for aniline-containing substances is increased due to the growth of current density and sulfuric acid concentration. Solvent specific flow value is increased under current density elevation, but it is decreased in response to concentration growth. The treatment of aniline-water solution with sulfuric acid results in hindrance factor increasing with the growth of sulfuric acid concentration in aniline-water solution on MGA-100 and OPM-K membranes which is explained by pH reduction of solution. Besides, dissociation degree and solubility of weak bases such as aniline elevate, Gibbs energy common value is decreased under absorption, which leads to reduction of aniline sorption by membranes. The presence of sulfuric acid in aniline-water solution brings about the formation of more complex space structures. These substances are retained by membrane better due to its higher dissociation degree, better water solubility, larger molecular size and more branched structure. The increasing in sodium chloride and sodium sulfate concentrations results in the decrease in its hindrance factors and solvent specific flow value through semipermeable membranes of MGA-100 and OPM-K types.

Key words: electric hyperfiltration process; membrane; aniline-containing substances; extraction factor; purification; sulfanilic acid

Для цитирования:

Лазарев С.И., Лазарев К.С., Ковалева О.А., Казаков В.Г., Стрельников А.Е. Исследование кинетических коэффициентов электрогиперфильтрационного извлечения химических веществ из технологических растворов анилинсодержащего производства. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2017. Т. 60. Вып. 5. С. 74–80.

For citation:

Lazarev S.I., Lazarev K.S., Kovaleva O.A., Kazakov V.G., Strelnikov A.E. Investigation of kinetic coefficients of electric hyperfiltration extraction of chemical substances from aniline-containing manufacturing process solutions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2017. V. 60. N 5. P. 74–80.

ВВЕДЕНИЕ

В производстве сульфаниловой кислоты, которая используется как реагент при синтезе красителей, в лаборатории для определения нитритов и обнаружения некоторых металлов (осмия, рутения и др.), в медицине в виде сульфаниламида, называемого белым стрептоцидом, основным компонентом является сульфат анилина. В результате

нагревания анилинсульфата $C_6H_5NH_2 \cdot H_2SO_4$ при 180–200 °С, из реакционной смеси с 3 моль серной кислоты в течение 5 ч выделяют сульфаниловую кислоту с выходом ее до 60%. При ее малой растворимости в холодной воде ее отделяют от избытка реагентов, в частности, от сульфата анилина и серной кислоты. Поэтому при производстве сульфаниловой кислоты образуются критические объ-

емы технологических растворов с содержанием химических реагентов, таких как сульфат анилина, серная кислота и соли.

При очистке и концентрировании технологических растворов производства сульфаниловой кислоты, наряду с традиционными методами, активно применяются перспективные мембранные методы разделения, которые доказали свои преимущества [1-3]. По сравнению с традиционными методами обработки растворов мембранные методы широкого внедрения в промышленности пока не получили. Все это связано с отсутствием технологии процесса обработки растворов с применением стадии электрогиперфильтрационного или обратноосмотического разделения при обработке конкретного вида раствора и с необходимостью проведения более детальных исследований по извлечению веществ из технологических растворов [4-7].

Цель работы – исследование кинетических коэффициентов электрогиперфильтрационного извлечения химических компонентов из технологического раствора анилинсодержащего производства.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальные исследования кинетических коэффициентов (коэффициента извлечения, задержания и величины удельного потока растворителя) проводились на установке при значениях рабочих параметров функционирования системы (при варьировании в диапазоне) $P = 1,0-4,0$ МПа, $i = 0-650$ А/м², $T = 295$ К, подробно описанной в работе [8].

Значения коэффициента проницаемости по воде определяли через удельный поток растворителя, рассчитываемого по формуле (1):

$$J^{+,-} = \frac{V}{F_m \cdot \tau}, \quad (1)$$

где V – объем пермеата, м³; F_m – рабочая площадь мембраны, м²; τ – время проведения эксперимента, с.

Значение коэффициента задержания по растворенному веществу в процессе обратного осмоса рассчитывалось по формуле (2):

$$R = 1 - \frac{C_{nep}}{C_0}, \quad (2)$$

Коэффициент извлечения по анилину через прикатодную мембрану оценивали по следующей формуле (3):

$$K_{изв} = \frac{C_{nep}}{C_0}, \quad (3)$$

где C_{nep} – концентрация растворенного вещества (анилина) в пермеате, кг/м³; C_0 – концентрация анилинсодержащих веществ в исходном растворе, кг/м³.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе электрогиперфильтрационного разделения анилинсодержащего раствора при исследовании коэффициента задержания, извлечения, удельного потока растворителя данные параметры находятся в зависимости от природы растворенных веществ и их концентраций в жидкости, от рабочего давления, температуры, типа полупроницаемой мембраны и гидродинамической обстановки в межмембранном канале [9-10]. Чем выше плотность тока, тем выше значения коэффициента извлечения и удельного потока растворителя. Данное явление объясняется тем, что с увеличением плотности тока увеличивается количество катионов анилина, проникающих через прикатодную мембрану, и как следствие, уменьшается коэффициент задержания и увеличивается коэффициент извлечения. На рис. 1 показана схема разделения ионов в камере мембранного аппарата при электрогиперфильтрационной очистке технологических растворов, содержащих сульфат анилина – основного реагента при производстве сульфаниловой кислоты.

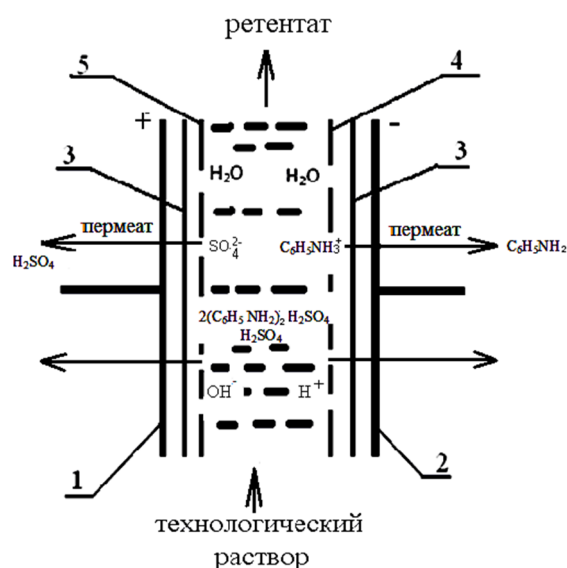


Рис. 1. Схема разделения ионов в камере мембранного аппарата: 1 – пористый анод; 2 – пористый катод; 3 – подложка; 4 – прикатодная мембрана; 5 – прианодная мембрана
Fig. 1. Schematic representation of ionic separation in membrane cell compartment: 1 – porous anode; 2 – porous cathode; 3 – substrate; 4 – cathode membrane; 5 – anode membrane

В исходном технологическом растворе анилинсодержащего производства сульфат анилина диссоциирует на катионы анилина $C_6H_5NH_3^+$ и анионы сульфогруппы SO_4^{2-} . При наложении разности электрических потенциалов в процессе гиперфильтрационного разделения исследуемого технологи-

ческого раствора под действием постоянного электрического тока катионы мигрируют через прикатодную, а анионы – через прианодную мембрану соответственно, и отводятся в тракты прикатодного и прианодного пермеата. Таким образом, в процессе электробаромембранного разделения исследуемого технологического раствора образуется щелочной пермеат с содержанием анилина и кислый пермеат с содержанием серной кислоты.

Экспериментальные зависимости коэффициента извлечения, задержания и величины удельного потока растворителя через мембрану при электрогиперфильтрационном разделении водных растворов, содержащих сульфат анилина, серную кислоту и соли при влиянии плотности тока, концентрации, природы растворенного вещества и типа пористой перегородки представлены на рис. 2-4.

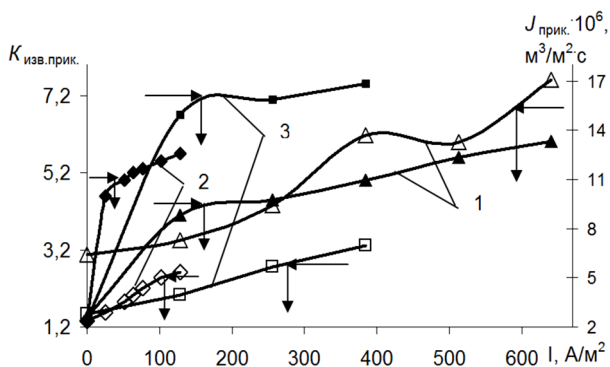


Рис. 2. Зависимость коэффициента извлечения анилина и величины удельного потока растворителя от плотности тока для прикатодной мембраны МГА-100 при разделении раствора сульфата анилина различной концентрации: 1 – 0,39 кг/м³; 2 – 0,55 кг/м³; 3 – 0,65 кг/м³

Fig. 2. The dependence of aniline extraction factor and solvent specific flow value on current density for cathode membrane MGA-100 at the separation of aniline sulfate solution of different concentrations: 1 – 0.39 kg/m³; 2 – 0.55 kg/m³; 3 – 0.65 kg/m³

Анализируя зависимости коэффициента извлечения и значений удельного потока растворителя через прикатодную мембрану от плотности тока, представленные на рис. 2, можно отметить, что с увеличением плотности постоянного электрического тока повышается коэффициент извлечения по анилину и удельный поток растворителя. Это связано с увеличением составляющих миграционного потока, то есть потока анилина через прикатодную мембрану (МГА-100), и переноса воды вследствие электроосмотического процесса. Как видно на рис. 2, для прикатодных мембран наблюдалось преобладание миграционного потока анилина (в 5-6 раз) по сравнению с электроосмотическим переносом воды. При плотностях тока 200 A/m^2 (рис. 2) и более, на наш взгляд, наблюдается

явление блокирования пор на прикатодной мембране, что снижает интенсивность миграционного потока ионов анилина через мембрану [11].

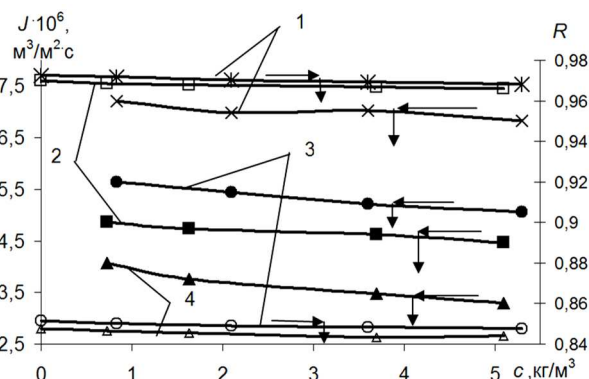


Рис. 3. Зависимость коэффициента задержания и величины удельного потока растворителя от концентрации хлорида натрия и сульфата натрия при разделении раствора, содержащего сульфат анилина ($c = 0,88 \text{ кг/м}^3$) для мембран: 1 – ОПМ-К (Na_2SO_4); 2 – ОПМ-К (NaCl); 3 – МГА-100 (Na_2SO_4); 4 – МГА-100 (NaCl)

Fig. 3. The dependence of hindrance factor and solvent specific flow value on sodium chloride and sodium sulfate concentrations at the separation of aniline sulfate solution ($c = 0.88 \text{ kg/m}^3$) for membranes: 1 – OPM-K (Na_2SO_4); 2 – OPM-K (NaCl); 3 – MGA -100 (Na_2SO_4); 4 – MGA -100 (NaCl)

На рис. 3 приведены зависимости коэффициента задержания солей и удельного потока растворителя от концентрации хлорида натрия, сульфата натрия для полупроницаемых мембран МГА-100 и ОПМ-К при проведении процесса обратнoосмотического разделения анилинсодержащих растворов. При увеличении концентрации происходит незначительное снижение коэффициента задержания и удельного потока растворителя через исследуемые образцы пористых мембран, что связано с влиянием сорбционных и диффузионных процессов, воздействующих на пограничные слои при осуществлении процесса мембранного разделения. С увеличением концентрации возрастает вязкость раствора и увеличивается его осмотическое давление, снижается эффективная движущая сила процесса, что сказывается на снижении удельного потока растворителя. Увеличение концентрации хлорида и сульфата натрия приводит к уменьшению коэффициента задержания и удельного потока растворителя через полупроницаемые мембраны типа МГА-100 и ОПМ-К. Данное обстоятельство, в первую очередь, объясняется увеличением влияния сорбционной способности и диффузионных явлений при разделении растворов, а во вторую очередь, связано с уменьшением доли воды в пограничном и активном слоях мембраны (явление обезвоживания рабочих слоев «мембрана – раствор») [12-13].

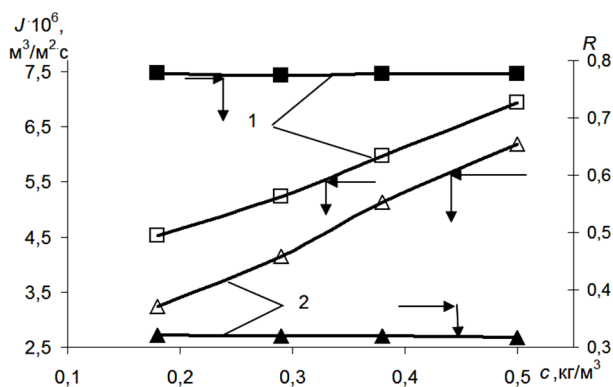


Рис. 4. Зависимость коэффициента задержания и величины удельного потока растворителя от концентрации серной кислоты при разделении раствора, содержащего сульфат анилина ($c = 0,85 \text{ кг/м}^3$) для мембран: 1 – ОПМ-К; 2 – МГА-100
 Fig. 4. The dependence of hindrance factor and solvent specific flow value on sulfuric acid concentration at the separation of aniline sulfate solution ($c = 0.85 \text{ kg/m}^3$) for membranes: 1 – OPM-K; 2 – MGA -100

На рис. 4 приведены зависимости коэффициентов задержания мембран МГА-100 и ОПМ-К и удельного потока растворителя от концентрации серной кислоты в водном анилинсодержащем растворе. На экспериментальных зависимостях (рис. 4) видно, что при концентрации серной кислоты в растворе от 0,18 до 0,5 кг/м^3 и присутствии в растворе неорганических веществ, коэффициент задержания на мембранах МГА-100 и ОПМ-К возрастает.

Анилин, являясь слабым основанием, ограниченно растворим в воде [14] (при $T = 293 \text{ К}$, $\alpha_{\text{макс}} = 33 \text{ кг/м}^3$), и поверхность мембраны обладает преимущественной "адсорбционной способностью" по отношению к нему, то есть растворенное вещество (анилин) переносится через мембрану в пермеате в большем количестве, чем растворитель (вода), на наш взгляд, мы имеем дело с положительной адсорбцией, то есть проявление процесса обогащения растворенным веществом пермеата в соответствии с уравнением Гиббса (4) [15]:

$$\Gamma = -\frac{C}{R \cdot T} \cdot \frac{d\sigma}{dC}, \quad (4)$$

где Γ – избыток анилина на поверхности мембраны, C – концентрация анилина в растворе, R – газовая постоянная, σ – поверхностное натяжение. При повышении концентрации анилина производная $d\sigma/dC < 0$, величина $\Gamma > 0$, и концентрация анилина в поверхностном межфазном слое у мембраны увеличивается по сравнению с концентрацией в растворе.

На величину коэффициента задержания оказывает влияние толщина активного слоя, порозность и характер распределения пор по активному слою полупроницаемой мембраны [16].

При введении в водный раствор анилина серной кислоты коэффициент задержания увеличивается с ростом количества кислоты, вводимой в водный раствор анилина на мембранах МГА-100 и ОПМ-К (рис. 4). Это можно объяснить понижением уровня pH раствора у слабых оснований, которым является анилин, при этом повышается степень диссоциации, увеличивается растворимость, уменьшается общее значение энергии Гиббса при адсорбции [15] Это приводит к снижению сорбции органического вещества (анилина) из водного раствора [17] мембранами, что сказывается на увеличении коэффициента задержания, рис. 4. Также наличие в водном растворе анилина серной кислоты, на наш взгляд, предполагает образование более сложных пространственных структур, эти вещества мембраной задерживаются лучше, так как имеют более высокую степень диссоциации, лучшую растворимость в воде, больший размер молекул и обладают более разветвленной структурой [18].

В подтверждение представленным интерпретациям экспериментальных данных по увеличению коэффициента задержания в случае разделения технологического раствора, содержащего анилин, его соли и серную кислоту, можно обосновать и результаты по коэффициенту задержания при разделении водных растворов, содержащих близкие по химическому строению вещества, такие как – фенол, хлорфенол и крезол, исследуемых в работах [19-21]. Так в работах [19, 20] при разделении водного раствора, содержащего фенол, на ацетатцеллюлозной мембране наблюдалось отрицательное значение коэффициента задержания, а при разделении хлорфенола, крезола на той же мембране коэффициент задержания имел нулевое значение при значении pH = 6-7. В работе [21] увеличение pH раствора выше 7 (pH 9-10) приводит к разному увеличению коэффициента задержания (R на уровне 60-90%) при разделении водных растворов, содержащих фенол, хлорфенол и крезол. Возрастание коэффициента задержания с повышением pH раствора объясняется тем, что у слабых кислот (фенол, хлорфенол, крезол) в щелочной среде повышается степень диссоциации, увеличивается их растворимость [22], уменьшается общее значение энергии Гиббса при адсорбции [15], что ведет к снижению сорбционных явлений и росту коэффициента задержания. На повышение коэффициента задержания оказывает влияние введение, например, в водный раствор фенола гидроксида натрия (NaOH) с образованием вещества фенольного класса ($\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa}$ – фенолят натрия). Данное соединение задерживается мембранами лучше, чем чи-

стый фенол, так как оно имеет хорошую растворимость в воде, более высокую степень диссоциации, больший размер молекулы и степень разветвленности.

ВЫВОДЫ

На электро- и баромембранных установках проведены исследования по определению влияния плотности тока, концентрации, природы вещества и типа мембраны на процесс электрохимического гиперфильтрационного извлечения химических веществ из технологических растворов анилинсодержащего производств. По результатам экспериментов построены кинетические зависимости основных параметров процесса: коэффициентов извлечения, задержания и величины удельного потока растворителя от плотности тока, концентрации,

природы растворенного вещества для двух видов полупроницаемых обратноосмотических мембран.

Проведена интерпретация экспериментальных данных по кинетическим зависимостям, которая выявила существенное влияния на коэффициенты извлечения и задержания плотности тока, концентрации, природы растворенного вещества и типа мембраны. Отмечено, что с повышением плотности тока и концентрации серной кислоты коэффициент извлечения, коэффициент задержания по анилинсодержащим веществам возрастают. Значение удельного потока растворителя на обоих типах мембран с повышением плотности тока увеличивается, а с ростом концентрации он плавно снижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кочаров Р.Г., Каграманов Г.Г.** Расчет установок мембранного разделения жидких смесей М.: РХТУ. 2001. 128 с.
2. **Лазарев С.И., Мамонтов В.В., Ковалев С.В.** Очистка технической воды на обратноосмотической установке плоскокамерного типа. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2006. Т. 49. Вып. 9. С. 52-54.
3. **Свитцов А.А.** Введение в мембранную технологию. М.: ДеЛи принт. 2007. 208 с.
4. **Федосов С.В., Осадчий Ю.П., Маркелов А.В., Туленов А.Т.** Исследование механизма закупоривания пор полимерных мембран. *Международ. науч.-иссл. журн.* 2015. № 1-3. С. 18-20.
5. **Ковалев С.В., Лазарев С.И., Лазарев К.С., Попов Р.В.** Удельный поток и коэффициент задержания мембраны МГА-95 при электробаромембранном разделении водного раствора сульфата цинка. *Вестн. ТГТУ.* 2015. Т. 21. № 1. С. 112-120.
6. **Лазарев С.И., Ковалев С.В., Казаков В.Г.** Электробаромембранная очистка промывных вод производства 2,2'-дибензотиазолилдисульфида. *Вестн. ТГТУ.* 2013. Т. 19. № 3. С. 614-618.
7. **Боронина Л.В.** Теоретические вопросы обратного осмоса и адсорбции при очистке многокомпонентных растворов. *Вестн. СГАСУ. Градостроительство и архитектура.* 2013. № 2 (10). С. 54-60.
8. **Ковалев С.В., Лазарев С.И., Мамонтов В.В., Попов В.Ю.** Исследования коэффициентов разделения и водопроницаемости мембран МГА-95 и МГА-80П при обратноосмотической очистке сточных вод гальванических производств. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2010. Т. 53. Вып. 6. С. 107-110.
9. **Карелин Ф.Н.** Обессоливание воды обратным осмосом. М.: Стройиздат. 1988. 208 с.
10. **Nunes S.P., Peinemann K.-V.** Membrane Technology: in the Chemical Industry. Wiley. VCH. 2006. 354 p.
11. **Симанова С.А.** Новый справочник химика и технолога. Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия (общая редакция). СПб.: АНО НПО "Мир и Семья". 2004. 838 с.

REFERENCES

1. **Kocharov R.G., Kagramanov G.G.** Calculation of devices of liquid mixture separation. M.: RKHTU. 2001. 128 p. (in Russian).
2. **Lazarev S.I., Mamontov V.V., Kovalev S.V.** Purification of technical water on reverse osmosis device of flat-camer type. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Him. Him. Tekhnol.* 2006. V. 49. N 9. P. 52-54 (in Russian).
3. **Svitsov A.A.** Introduction to membrane technology. M.: DeLi print. 2007. 208 p. (in Russian).
4. **Fedosov S.V., Osadchy Y.P., Markelov A.V., Tulenov A.T.** Study of mechanism of pore blockage of polymeric membranes. *Mezhdunarod. nauch.-issl. zhurn.* 2015. N 1-3. P.18-20 (in Russian).
5. **Kovalev S.V., Lazarev S.I., Lazarev K.S., Popov R.V.** Specific flow and hindrance factor of membrane MGA-95 at electrobaromembrane separation of water solution of zink sulphate. *Vestn. TGTU.* 2015. V. 21. N 1. P. 112-120 (in Russian).
6. **Lazarev S.I., Kovalev S.V., Kazakov V.G.** Elektrobaromembrane purification of washing waters of 2,2'-dibenzothiazolyledisulfide production. *Vestn. TGTU.* 2013. V. 19. N 3. P. 614-618 (in Russian).
7. **Boronina L.V.** Theoretical problems of reverse osmosis and adsorption at purification of multi-component solutions. *Vestn. SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura.* 2013. N 2 (10). P. 54-60 (in Russian).
8. **Kovalev S.V., Lazarev S.I., Mamontov V.V., Popov V.Yu.** Study of separation factors and water permeability of MGA-95 and MGA-80P membranes at reverse osmosis purification of wastewater of electrochemical productions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2010. V. 53. N 6. P. 107-110 (in Russian).
9. **Karelin F.N.** Desalination of water with reverse osmosis. M.: Stroyizdat. 1988. 208 p. (in Russian).
10. **Nunes S.P., Peinemann K.-V.** Membrane Technology: in the Chemical Industry. Wiley. VCH. 2006. 354 p.
11. **Simanova S.A.** New handbook of chemist and technologist. Chemical kinetics and diffusion. Colloid chemistry. SPb.: ANO NPO "Mir i Sem'ya". 2004. 838 p. (in Russian).
12. **Polyakov S.V., Volgin V.D., Maksimov E.D., Sinyak Yu.E.** Calculation of concentration polarization in devices of

12. **Поляков С.В., Волгин В.Д., Максимов Е.Д., Сняк Ю.Е.** Расчет концентрационной поляризации в аппаратах обратного осмоса с плоскокамерными фильтрующими элементами. *Химия и технология воды*. 1982. Т. 4. № 3. С. 299-304.
13. **Прохоренко Н.И., Корбутяк М.А., Кучерук Д.Д., Пилипенко А.Т.** Зависимость характеристик ацетатцеллюлозных мембран в процессе обратного осмоса от температуры и природы электролита. *ДАН УССР. Сер. Б*. 1988. № 1. С. 50-53.
14. **Николаев Ю.Т., Якубсон А.М.** Анилин. М.: Химия. 1984. 152 с.
15. **Лукьянов А.Б.** Физическая и коллоидная химия. М.: Химия. 1988. 210 с.
16. **Яминов А.А., Калгада В.Т., Кожевников А.В.** Разделение растворов низкомолекулярных органических веществ методом обратного осмоса. *Хим. пром-ть*. 1978. № 10. С. 25-30.
17. **Антропов Л.И.** Теоретическая электрохимия. М.: Высш. шк. 1975. 36 с.
18. **Брык М.Т., Цапук Е.А.** Ультрафильтрация. Киев: Наукова думка. 1989. 288 с.
19. **Рыбак Ю.И.** Разделение водно-фенольных смесей методами обратного осмоса. *Нефтехим. пром-ть. Нефтепереработка и нефтехимия*. 1974. № 3. С. 41-43.
20. **Скрибная В.Б., Кучерук Д.Д.** *Химия и технология воды*. 1981. Т. 3. № 3. С. 204-207.
21. **Matsuura T., Sourirajan S.** Reverse osmosis separation of phenols in aqueous solutions using porous cellulose acetate membranes. *J. Appl. Polymer Sci.* 1972. V. 16. Issue 10. P. 2531-2554.
22. **Несмеянов А.Н., Несмеянов Н.А.** Начало органической химии. М.: Химия. 1970. Т. 2. 824 с.
- reverse osmosis with flat-camera filtering elements. *Khimiya i tekhnologiya vody*. 1982. V. 4. N 3. P. 299-304 (in Russian).
13. **Prokhorenko N.I., Korbutyak M.A., Kucheruk D.D., Piliipenko A.T.** The dependence of parameters of acetate-cellulose membranes in a process of reverse osmosis on the temperature and electrolyte nature. *DAN USSR. Ser. B*. 1988. N 1. P. 50-53 (in Russian).
14. **Nikolaev Yu.T., Yakubson A.M.** Aniline. M.: Khimiya. 1984. 152 p. (in Russian).
15. **Lukyanov A.B.** Physical and colloid chemistry. M.: Khimiya. 1988. 210 p. (in Russian).
16. **Yasminov A.A., Kalgada V.T., Kozhevnikov A.V.** Solutions separation of low-molecular organic substances with the reverse osmosis method. *Khim. prom-t'*. 1978. N 10. P. 25-30 (in Russian).
17. **Antropov L.I.** Theoretical electrochemistry. M.: Vyssh. Shkola. 1975. 36 p. (in Russian).
18. **Bryk M.T., Tsapyuk E.A.** Ultra filtration. Kiev: Naukova dumka. 1989. 288 p. (in Russian).
19. **Rybak Yu.I.** Separation of water-phenol mixtures with the methods of reverse osmosis. *Neftekhim. prom-t'. Neftpererabotka i neftekhimiya*. 1974. N 3. P. 41-43 (in Russian).
20. **Skrinbnaya V.B., Kucheruk D.D.** *Khimiya i tekhnologiya vody*. 1981. V. 3. N 3. P. 204-207 (in Russian).
21. **Matsuura T., Sourirajan S.** Reverse osmosis separation of phenols in aqueous solutions using porous cellulose acetate membranes. *J. Appl. Polymer Sci.* 1972. V. 16. Issue 10. P. 2531-2554.
22. **Nesmeyanov A.N. Nesmeyanov N.A.** Origin of organic chemistry. M.: Khimiya. 1970. V. 2. 824 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 15.12.2016
Принята к опубликованию 09.03.2017

Received 15.12.2016
Accepted 09.03.2017