

УДК 66.661  
DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-5-1161-1164

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ СОЛИ МЕТАЛЛОВ

© С.И. Лазарев<sup>1)</sup>, С.В. Ковалев<sup>1)</sup>, А.А. Арзамасцев<sup>2)</sup>,  
В.М. Дмитриев<sup>1)</sup>, Н.Н. Игнатов<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Тамбовский государственный технический университет  
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106  
E-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

<sup>2)</sup> Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина  
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33  
E-mail: arz\_sci@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований по коэффициенту задержания и удельному потоку растворителя, показывающие, что с ростом градиента давления возрастает движущая сила исследуемого процесса, приводящая к тому, что удельный поток и коэффициент возрастают с ростом давления. При увеличении концентрации растворенного вещества в обрабатываемом растворе снижается удельный поток из-за того, что постепенно возрастает осмотическое давление раствора, а также, как правило, растет вязкость и плотность раствора. Оценка коэффициента задержания растворенного вещества мембраной с ростом концентрации связана с формированием трех характерных периодов по разделяющей способности мембраны.

*Ключевые слова:* мембрана; раствор; разделение; процесс

### ВВЕДЕНИЕ

На промышленных предприятиях, использующих линии гальванического покрытия, существует проблема очистки промывных вод после обработки готовой продукции. Данная проблема, как правило, решается с применением устаревших традиционных методов разделения растворов. Например, используются ставшие общедоступными методы реагентной обработки растворов, фильтрования, коагуляции, флокуляции, флотации и др. Использование в настоящей работе мембранных методов очистки растворов, содержащих ионы металлов, оправдано тем, что мембранные процессы применяются как завершающий этап очистки.

Целью работы являлось исследование удельного потока и коэффициента задержания при обратноосмотическом разделении растворов, содержащих соли металлов.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве модельного раствора имитирующих реальные промывные воды гальванических производств для исследований был выбран водный раствор сульфата олова.

Исследования удельного потока и коэффициента задержания при обратноосмотическом разделении растворов, содержащих соли металлов, проводились по методике и на установке, оснащенной плоскокамерным аппаратом, представленным в работе [1]. В качестве пористой мембраны для исследований выступала мем-

брана МГА-95, выпускаемая ЗАО НТЦ «Владипор» г. Владимир.

Экспериментальные зависимости удельного потока и коэффициента задержания от концентрации водного раствора сульфата олова при постоянной температуре  $T = 295$  К представлены на рис. 1 и 2.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе зависимости удельного потока от концентрации водного раствора сульфата олова при постоянной температуре  $T = 295$  К, представленного на рис. 1, отмечается, что при баромембранном разделении давление является движущей силой процесса разделения. За счет того, что в процессе увеличения концентрации растворенного вещества в растворе постепенного возрастает осмотическое давление раствора, а так же, как правило, растет вязкость и плотность раствора, наблюдается снижение удельного потока от концентрации водного раствора сульфата олова. При росте рабочего давления удельный поток стремится к увеличению, т. к. происходит рост движущей силы процесса.

Анализируя зависимость коэффициента задержания от концентрации водного раствора сульфата олова, представленную на рис. 2 для мембраны МГА-95, экспериментальную зависимость можно условно разделить на несколько участков. Первый участок: возрастание коэффициента задержания с ростом концентрации растворенного вещества в растворе, которое можно объяснить постепенным уплотнением структуры мем-

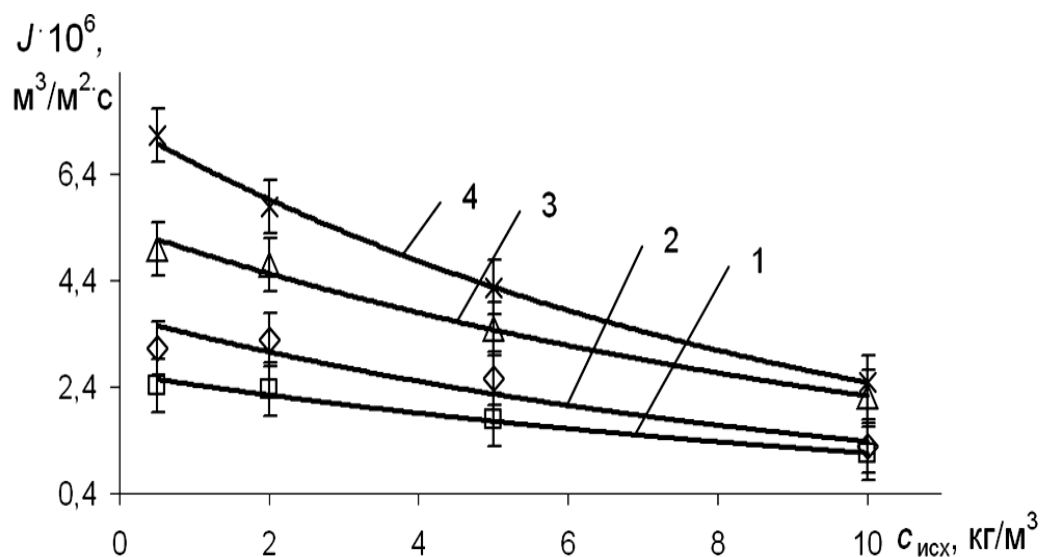


Рис. 1. Зависимость удельного потока от концентрации водного раствора сульфата олова для мембраны МГА-95 при постоянной температуре  $T = 295$  К и давлении: 1 –  $P = 1,5$  МПа; 2 –  $P = 2$  МПа; 3 –  $P = 3$  МПа; 4 –  $P = 4$  МПа

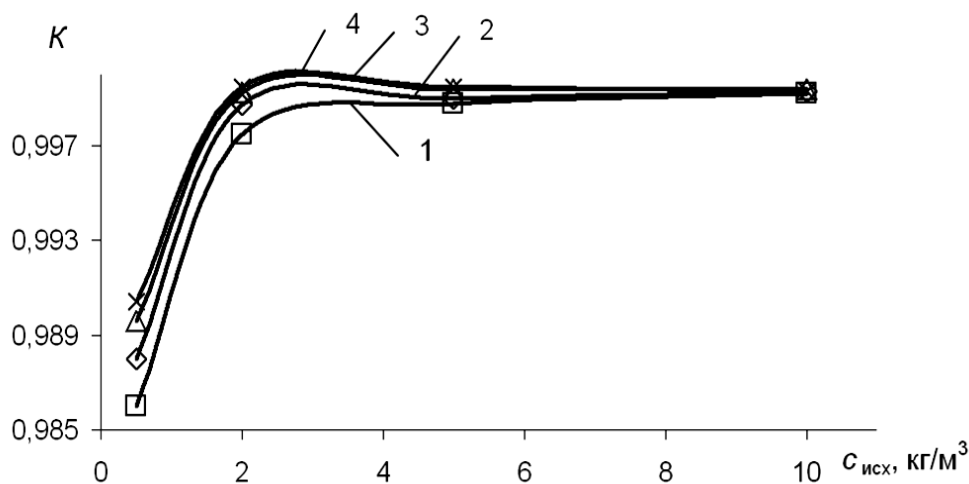


Рис. 2. Зависимость коэффициента задержания от концентрации водного раствора сульфата олова для мембраны МГА-95 при постоянной температуре  $T = 295$  К и давлении: 1 –  $P = 1,5$  МПа; 2 –  $P = 2$  МПа; 3 –  $P = 3$  МПа; 4 –  $P = 4$  МПа

браны при не очень большом росте осмотического давления. Второй участок: коэффициент задержания от концентрации практически постоянен и говорит о том, что с изменением концентрации структура раствора не изменяется, так как эти изменения отражались бы на толщине слоя воды, связанной с поверхностью мембраны водородной связью, что в свою очередь привело бы к изменению коэффициента задержания. Третий участок: характеризуется падением коэффициента задержания при росте концентрации уже на порядок или несколько порядков, приводящих к росту осмотического давления раствора, снижает эффективную движущую силу процесса, и, как правило, это приводит к росту вязкости раствора. С увеличением концентрации уменьшается толщина слоя связанной воды на поверхности и в порах мембран, ослабевают силы взаимодействия между ионами и молекулами воды в растворах неорганических веществ [2–4].

Обобщая описанное ранее, можно отметить, что, вероятно, при обратноосмотическом разделении в об-

ласти очень низких концентраций сульфатсодержащих растворов, например, до границы первого участка применение обратноосмотических аппаратов малоэффективно, так как не позволяет достичь большой задерживающей способности исследуемых мембран. Поэтому в этой области необходимо применение для удаления неорганических солей комбинированных процессов, например, обратного осмоса и ионного обмена или обратного осмоса и электродиализа [2–3].

Также стоит отметить, что в некоторых случаях в результате дополнительного воздействия концентрационной поляризации на мембране при окислении сульфата олова при мембранном разделении происходит выпадение осадка, что и наблюдалось при экспериментальных исследованиях (раствор в исходной емкости приобрел окраску молочного цвета).

При нормальном расположении мембраны активный слой опирается на крупнопористую основу, и мембрана уплотняется, в результате чего увеличивается коэффициент задержания [2].

При сравнении систем для обратного осмоса с другими методами разделения следует использовать значения коэффициента задержания, полученные при соответствующих усредненных концентрациях обрабатываемого раствора [2; 5]. Стоит отметить, что нормальное функционирование аппаратуры баромембранного разделения должно сопровождаться аппаратурным оформлением для регенерации мембран, необходимые аспекты которого описаны в литературных данных [6–9].

### ВЫВОДЫ

Получены экспериментальные данные по удельному потоку и коэффициенту задержания в зависимости от концентрации водного раствора сульфата олова, показывающие, что на данные кинетические коэффициенты оказывает влияние движущая сила процесса и возрастание осмотического давления раствора в результате увеличения концентрации в ретентате.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарев Д.С., Ковалев С.В. Обратноосмотическое разделение слабоминерализованных растворов на тепловых электроцентра

2. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. 352 с.
3. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
4. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 252 с.
5. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир, 1999. 513 с.
6. Тертугов Г.В. Очистка сточных вод технологических жидкостей машиностроительных предприятий с использованием неорганических мембран. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000. 96 с.
7. Юрчевский Е.Б., Первов А.Г., Андрианов А.П. Изучение процесса формирования осадков взвешенных, коллоидных, органических и кристаллических веществ на поверхности мембран и пути увеличения срока работы мембранных систем до химической промывки // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. Т. 41. № 3. С. 3-6.
8. Горячий Н.В., Свитцов А.А., Марданян М.М. и др. О природе загрязнений мембран в процессе концентрирования пектиновых экстрактов // Мембраны. Серия Критические технологии. 2002. Т. 18. № 2. С. 40-44.
9. Ковалев С.В., Лазарев С.И., Лазарев К.С. Регенерация обратноосмотических и электроосмофильных мембран при разделении сульфатсодержащих растворов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2010. Т. 53. № 2. С. 78-80.

Поступила в редакцию 7 июля 2017 г.

Лазарев Сергей Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной геометрии и компьютерной графики, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Ковалев Сергей Владимирович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, доцент кафедры прикладной геометрии и компьютерной графики, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Арзамасцев Александр Анатольевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математического моделирования и информационных технологий, e-mail: arz\_sci@mail.ru

Дмитриев Вячеслав Михайлович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности и правопорядка, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Игнатов Николай Николаевич, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, соискатель, кафедра прикладной геометрии и компьютерной графики, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

UDC 66.661

DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-5-1161-1164

## EXPERIMENTAL STUDIES OF KINETIC COEFFICIENT OF REVERSE-OSMOSIS SOLUTE PARTITIONING WITH SALINE METALS

© S.I. Lazarev<sup>1</sup>, S.V. Kovalev<sup>1</sup>, A.A. Arzamastsev<sup>2</sup>,  
V.M. Dmitriev<sup>1</sup>, N.N. Ignatov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tambov State Technical University

106 Sovetskaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

<sup>2</sup> Tambov State University named after G.R. Derzhavin

33 Internatsionalnaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: arz\_sci@mail.ru

The results of experimental researches on rejection coefficient and specific flow solvent, showing that with the growth of barometric gradient the motivation of the studied process is growing leading to that the specific flow and coefficient is increasing with the pressure rise. At the densification of dissolved solids in the solu-

tion the specific flow is descending because the osmotic pressure of solution is increasing and as a rule the viscosity and solution density. The estimated coefficient interception of the dissolved solids by membrane with the increase of concentration is connected with the formation of three characteristic periods in separative power of membrane.

**Keywords:** membrane; solution; division; process

## REFERENCES

1. Lazarev D.S., Kovalev S.V. Obratnoosmoticheskoe razdelenie slabomineralizirovannykh rastvorov na teplovykh elektrosentralyakh [Reverse-osmosis division of low-mineralized solutions at cogeneration plants]. *Materialy Vserossiyskogo otkrytogo konkursa studentov vuzov i molodykh issledovateley «Vzglyad molodykh uchenykh na problemy regional'noy ekonomiki–2015»* [Materials of All-Russian Open competition of Students of Institutions and Young Researchers “The View of Young Scientists on the Problem of Regional Economics – 2015”]. Tambov, 2015, pp. 155-161. (In Russian).
2. Dytnerkiy Y.I. *Obratnyy osmos i ul'trafil'tratsiya* [Reversed Osmos and Ultrafiltration]. Moscow, Khimiya Publ., 1978, 352 p. (In Russian).
3. Dytnerkiy Y.I. *Baromembrannye protsessy. Teoriya i raschet* [Baromembrane Processes. Theory and Calculation]. Moscow, Khimiya Publ., 1986, 272 p. (In Russian).
4. Dytnerkiy Y.I. *Membrannye protsessy razdeleniya zhidkikh smesey* [Membrane Processes of Liquid Composition Division]. Moscow, Khimiya Publ., 1975, 252 p. (In Russian).
5. Mulder M. *Vvedenie v membrannuyu tekhnologiyu* [The Introduction in Membrane Technology]. Moscow, Mir Publ., 1999, 513 p. (In Russian).
6. Terpugov G.V. *Ochistka stochnykh vod tekhnologicheskikh zhidkostey mashinostroitel'nykh predpriyatiy s ispol'zovaniem neorganicheskikh membran* [Waste Water Depuration of Process Liquids of Machine-Building Enterprise with the Use of Non-Organic Membranes]. Moscow, Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev Publ., 2000, 96 p. (In Russian).
7. Yurchevskiy E.B., Pervov A.G., Andrianov A.P. Izuchenie protsessa formirovaniya osadkov vzveshennykh, kolloidnykh, organicheskikh i kristallicheskikh veshchestv na poverkhnosti membran i puti uvelicheniya sroka raboty membrannykh sistem do khimicheskoy promyvkii [The study of the process of suspended, colloid, organic and crystal materials at the surface of membranes and the ways of increase of the service line of membrane systems to chemical wash]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka – Energy and Water Treatment*, 2006, vol. 41, no. 3, pp. 3-6. (In Russian).
8. Goryachiy N.V., Svitsov A.A., Mardanyan M.M. et al. O prirode zagryazneniy membran v protsesse kontsentrirvaniya pektinovykh ekstraktov [About the of membrane pollution in the process of concentration of pectic extracts]. *Membrany. Seriya Kriticheskie tekhnologii – Journal of Membrane Science*, 2002, vol. 18, no. 2, pp. 40-44. (In Russian).
9. Kovalev S.V., Lazarev S.I., Lazarev K.S. Regeneratsiya obratnoosmoticheskikh i elektroosmofil'tratsionnykh membran pri razdelenii sul'fatsoderzhashchikh rastvorov [Regeneration of reverse-osmosis and electricosmofiltration membranes at the division of sulfate-containing solutions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya – Chemistry and chemical technology*, 2010, vol. 53, no. 2, pp. 78-80. (In Russian).

Received 7 July 2017

Lazarev Sergey Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Head of Applied Geometry and Computer Graphics Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Kovalev Sergey Vladimirovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Associate Professor of Applied Geometry and Computer Graphics Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Arzamastsev Aleksander Anatolevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Head of Mathematical Modeling and Information Technologies Department, e-mail: arz\_sci@mail.ru

Dmitriev Vyacheslav Mikhaylovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor of Safety and Security Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Ignatov Nikolay Nikolaevich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Competitor, Applied Geometry and Computer Graphics Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

**Для цитирования:** Лазарев С.И., Ковалев С.В., Арзамасцев А.А., Дмитриев В.М., Игнатов Н.Н. Экспериментальные исследования кинетических коэффициентов обратногоосмотического разделения растворов, содержащих соли металлов // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 5. С. 1161-1164. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1161-1164

**For citation:** Lazarev S.I., Kovalev S.V., Arzamastsev A.A., Dmitriev V.M., Ignatov N.N. Eksperimental'nye issledovaniya kineticheskikh koeffitsientov obratnoosmoticheskogo razdeleniya rastvorov, soderzhashchikh soli metallov [Experimental studies of kinetic coefficient of reverse-osmosis solute partitioning with saline metals]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 1161-1164. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1161-1164 (In Russian, Abstr. in Engl.).