

УДК 66.081.63

DOI: 10.17277/voprosy.2016.01.pp.187-191

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ МЕМБРАН В РАСТВОРАХ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

О. А. Абоносимов

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор С. И. Лазарев

Ключевые слова: гидродинамика потока раствора; гидродинамическая проницаемость; полимерная мембрана.

Аннотация: Приведены результаты исследования коэффициента гидродинамической проницаемости полимерных мембран при обратноосмотическом разделении промышленных стоков, содержащих соединения хрома, меди и никеля. Проанализированы и объяснены зависимости коэффициента гидродинамической проницаемости полимерных мембран от давления, гидродинамики потока раствора и температуры. Получены аппроксимационные зависимости коэффициента гидродинамической проницаемости мембраны МГА-95 от давления, гидродинамики потока раствора и температуры.

В химической промышленности при гальванической обработке изделий образуется большое количество гальваностокков, содержащих соединения тяжелых металлов. Для утилизации гальваностокков используется процесс обратноосмотического разделения растворов [1, 2]. Одной из важнейших характеристик данного процесса является гидродинамическая проницаемость мембран [3, 4].

Цель работы – исследование коэффициента гидродинамической проницаемости полимерных мембран при обратноосмотическом разделении гальваностокков с учетом влияния давления, гидродинамики потока раствора и температуры.

В качестве объектов исследования использовались модельные растворы, содержащие соединения хрома, меди и никеля, входящие в состав промышленных стоков.

Абоносимов Олег Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная геометрия и компьютерная графика», e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

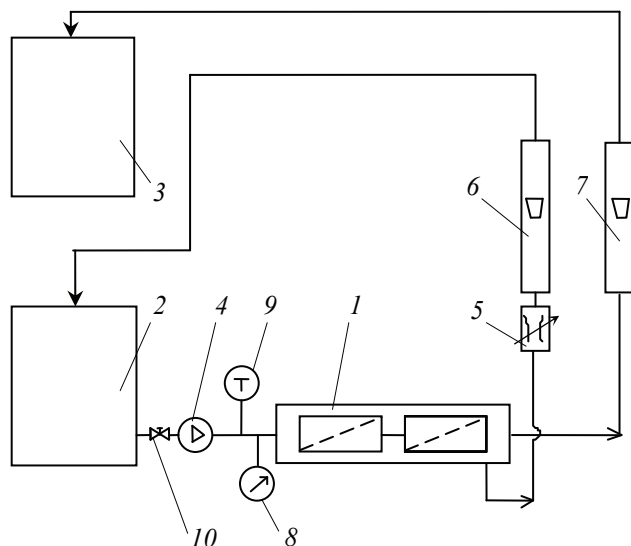


Рис. 1. Схема обратноосмотической установки для исследования коэффициента гидродинамической проницаемости мембран

Исследование коэффициента гидродинамической проницаемости проводилось на установке, представленной на рис. 1. Установка состоит из обратноосмотического модуля 1, емкости исходного раствора 2, емкости пермеата 3, насоса 4, дросселя 5, ротаметров для пенетрата 6 и пермеата 7, манометра 8, термометра 9, вентиля 10. Основным разделительным элементом установки является обратноосмотический модуль 1, в который устанавливались два обратноосмотических рулонных модуля типа ЭРО-Э-6,5/900А с мембранами МГА-95.

Экспериментальные исследования на обратноосмотической установке проводили следующим образом. Из емкости 2 исходный раствор нагнетался в обратноосмотический модуль 1 плунжерным насосом 4 типа НД-2,5, который обеспечивал подачу раствора в пределах $0 \dots 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и создавал давление до 6 МПа. С помощью дросселя 5 в обратноосмотическом модуле устанавливалось необходимое рабочее давление раствора, которое контролировалось электроконтактным манометром 8. Ротаметр 6 осуществлял контроль над расходом раствора, а температура измерялась термометром 9. Расход пермеата после обратноосмотических модулей контролировался ротаметром 7 и собирался в емкости 3.

Экспериментальные исследования проводили при варьировании концентрации, скорости раствора и температуры. Для определения средних значений проводили серию из трех экспериментов.

Значение коэффициента гидродинамической проницаемости мембраны α , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$, рассчитывали по зависимости [1, 5]

$$\alpha = \frac{V/(F_M \tau)}{P}, \quad (1)$$

где V – объем собранного пермеата, м^3 ; F_M – рабочая площадь мембраны, м^2 ; τ – время проведения эксперимента, с; P – рабочее давление, Па.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 2. Проведенные эксперименты выявили следующие закономерности. При увеличении концентрации растворов для всех исследуемых веществ коэффициент гидродинамической проницаемости практически остается постоянным, что характерно для обратноосмотического разделения сильноразбавленных растворов, к которым можно отнести исследуемые [1].

С увеличением скорости течения раствора в межмембранном канале коэффициент гидродинамической проницаемости незначительно возрастает. Это объясняется тем, что с ростом скорости течения раствора над мембраной уменьшается влияние эффекта концентрационной поляризации [3, 6].

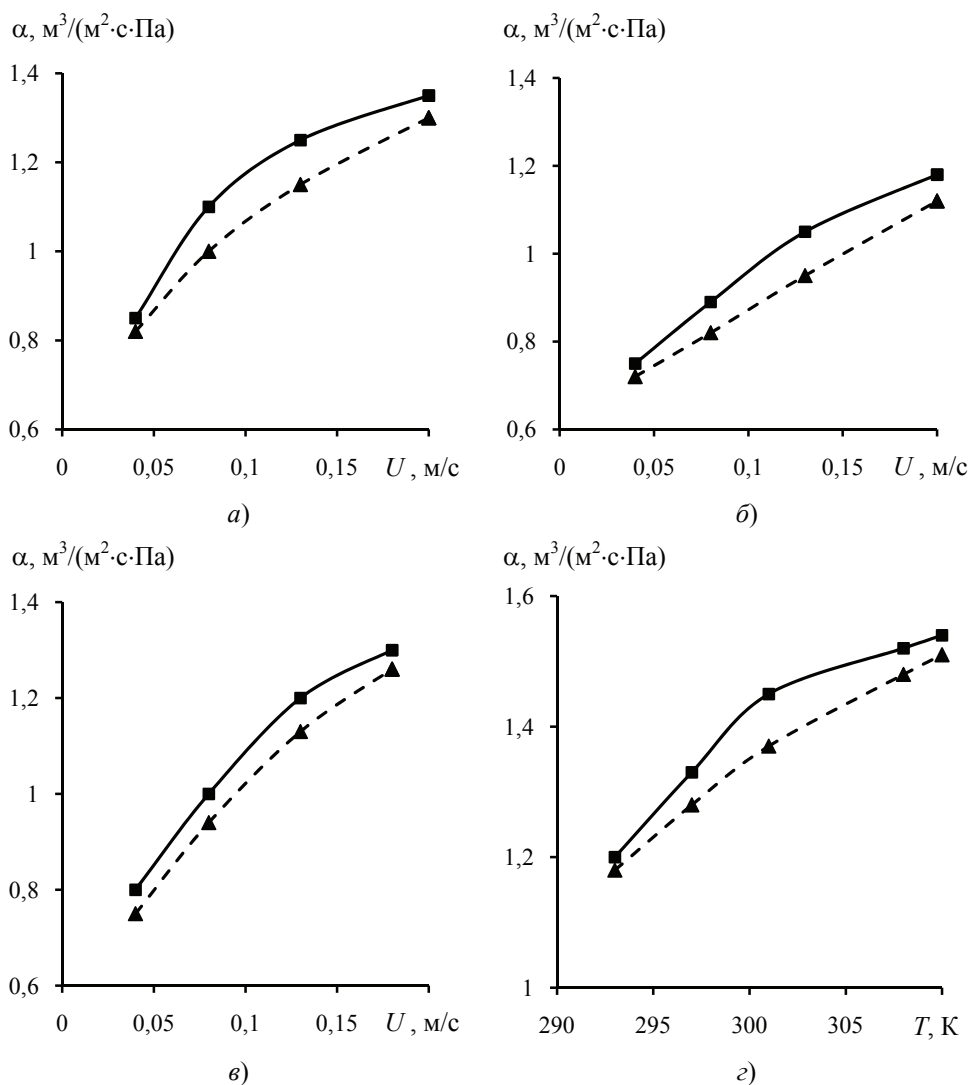


Рис. 2. Зависимости коэффициента гидродинамической проницаемости мембраны МГА-95 от скоростей U течения растворов $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (а), CuSO_4 (б), NiCl_2 (в) и температуры раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (з):
 ▲ — расчет; ■ — эксперимент

Рост температуры разделяемых растворов также вызывает увеличение коэффициента гидродинамической проницаемости мембран, так как снижается вязкость растворов, что улучшает процесс разделения [6].

С учетом полученных зависимостей коэффициента гидродинамической проницаемости мембраны МГА-95 от давления, скорости течения раствора и температуры для расчета значений получено аппроксимационное выражение

$$\alpha = \frac{G}{k(P - \Delta\pi)a \operatorname{Re}^n (T/T_0)^m}, \quad (2)$$

где G – водопроницаемость мембраны, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; k , a , m , n – эмпирические коэффициенты; Re – число Рейнольдса; T_0 , T – реперная (принята нами 293 К) и рабочая температуры разделяемого раствора соответственно.

Выводы

1. Получены оригинальные значения коэффициента гидродинамической проницаемости мембраны МГА-95 растворов, содержащих соединения хрома, меди и никеля, в зависимости от параметров проведения процесса разделения. Выявлено влияние гидродинамики потока раствора и температуры на коэффициент гидродинамической проницаемости мембраны МГА-95.

2. Теоретически обоснован и аналитически описан коэффициент гидродинамической проницаемости в зависимости от давления, гидродинамики потока раствора и температуры. Полученные результаты исследования гидродинамической проницаемости мембраны МГА-95 будут использованы для расчета и проектирования обратноосмотических аппаратов разделения гальваностокков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания № 1222.

Список литературы

1. Хванг, С.-Т. Мембранные процессы разделения : пер. с англ. / С.-Т. Хванг, К. Каммермейер ; под ред. Ю. И. Дытнерского. – М. : Химия, 1981. – 464 с.
2. Мембранные технологии в решении экологических проблем / А. Г. Первов [и др.] // Мембраны и мембранные технологии. – 2011. – Т. 1, № 2. – С. 83 – 91.
3. Кочаров, Р. Г. Расчет установок мембранного разделения жидких смесей / Р. Г. Кочаров, Г. Г. Каграманов. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2001. – 128 с.
4. Direct Nanofiltration of Surface Water Using Capillary Membranes: Comparison with Flat Sheet Membranes / B. Van der Bruggen [et al.] // Separation and Purification Technology. – 2003. – Vol. 31, No. 2. – P. 193 – 201.
5. Лазарев, К. С. Исследование кинетических коэффициентов обратноосмотического разделения растворов на мембранах МГА-95, МГА-100, ОПМ-К / К. С. Лазарев, С. В. Ковалев, А. А. Арзамасцев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 3. – С. 726 – 734.

6. Ковалев, С. В. Методика исследования гидродинамической проницаемости мембран от градиента давления и температуры / С. В. Ковалев // Мембраны и мембранные технологии. – 2013. – Т. 3, № 3. – С. 191 – 198.

References

1. Hwang S.-T., Kammermeyer K. *Membranes in separations*, New York etc.: John Wiley & Sons, 1975.
2. Pervov A.G., Andrianov A.P., Gorbunova T.P., Bagdasaryan A.S. [Membrane technology in solving environmental problems], *Membrany i membrannye tekhnologii* [Membranes and Membrane Technologies], 2011, vol. 1, no. 2, pp. 83-91. (In Russ.)
3. Kocharov R.G., Kagramanov G.G. *Raschet ustanovok membrannogo razdeleniya zhidkikh smesei* (Calculation of membrane separation units of liquid mixtures), Moscow: RKhTU im. D.I. Mendeleeva, 2001, 128 p. (In Russ.)
4. Bruggen B., Hawrijk I., Cornelissen E., Vandecasteele C. Direct nanofiltration of surface water using capillary membranes: comparison with flat sheet membranes, *Separation and Purification Technology*, 2003, vol. 31, issue 2, pp. 193-201.
5. Lazarev K.S., Kovalev S.V., Arzamastsev A.A. [Study of Kinetic Coefficients of RO Separation of Solutions on the Membrane MGA-95 MGA-100 and OPM-K], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 3, pp. 726-734. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Kovalev S.V. [Research Methodology hydrodynamic permeability of the membranes of the pressure gradient and temperature], *Membrany i membrannye tekhnologii* [Membranes and Membrane Technologies], 2013, vol. 3, no. 3, pp.191-198. (In Russ.)

Investigation of Hydrodynamic Permeability of Reverse Osmosis Membranes in Solutions of Salts of Heavy Metals

O. A. Abonosimov

Tambov State Technical University, Tambov

Keywords: hydrodynamic permeability; polymeric membrane; solution flow hydrodynamics.

Abstract: The paper describes the results of the study of hydrodynamic permeability coefficient of polymer membranes in reverse osmosis separation of industrial effluents containing compounds of chromium, copper and nickel. The author analyzed, explained and the dependence of the hydrodynamic permeability of polymeric membranes on pressure, hydrodynamic solution flow and temperature. The author obtained approximation dependence of the MGA-95 membrane hydrodynamic permeability on pressure, hydrodynamic solution flow and temperature.

© O. A. Абоносимов, 2016