

УДК 66.081

## КИНЕТИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ МЕТАЛЛОВ

© К.С. Лазарев, С.В. Ковалев, А.А. Арзамасцев

*Ключевые слова:* обратный осмос; мембрана; коэффициент задержания; удельный поток растворителя.

Разработана экспериментальная обратноосмотическая установка и одномодульный рулонный аппарат для исследования коэффициента задержания и удельный поток растворителя для мембраны МГА-95 при разделении растворов, содержащих соли металлов.

### ВВЕДЕНИЕ

Для разделения растворов, содержащих соли металлов, в которых растворенные вещества могут легко переходить в коллоидную форму, применяют мембранные процессы разделения [1]. Однако широкое применение этих процессов сдерживается малоизученностью кинетики массопереноса и отсутствием аппаратов для их реализации.

Целью данной работы является разработка методики для исследования удельного потока растворителя на одномодульном баромембранном рулонном аппарате при разделении растворов, содержащих ионы цинка, железа и олова.

Большое количество работ по обратноосмотическому разделению растворов, содержащих ионы металлов, в России и за рубежом посвящено исследованию влияния органических компонент на коэффициент задержания на плоскокамерных баромембранных аппаратах [2–5].

Также представлен ряд исследований по кинетике обратноосмотического разделения на трубчатых мембранных аппаратах, которые применяются при очистке растворов, содержащих растворенные вещества в большом количестве [6].

Незначительное количество экспериментальных работ посвящено исследованию кинетических коэффициентов для неорганических многокомпонентных растворов на баромембранных аппаратах рулонного типа. Эти работы носят отрывистый характер и сопровождаются достаточно типовыми конструкциями экспериментальных установок [7]. Для исследования кинетики обратноосмотического разделения растворов, содержащих ионы металлов, предложена усовершенствованная методика и конструкция одномодульного рулонного аппарата.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

При экспериментальных исследованиях обратноосмотического разделения растворов, содержащих ионы металлов, использовалась серийно выпускаемая ЗАО НТЦ «Владипор» мембрана МГА-95. Структура мембраны МГА-95 представляет собой пористую полимер-

ную полупрозрачную или белого цвета пленку на основе ацетатов целлюлозы на подложке (нетканый полипропилен, тканый и нетканый лавсан).

Основные характеристики исследуемой отечественной мембраны сведены в табл. 1.

Исследование удельного потока растворителя проводилось на экспериментальной установке, представленной на рис. 1.

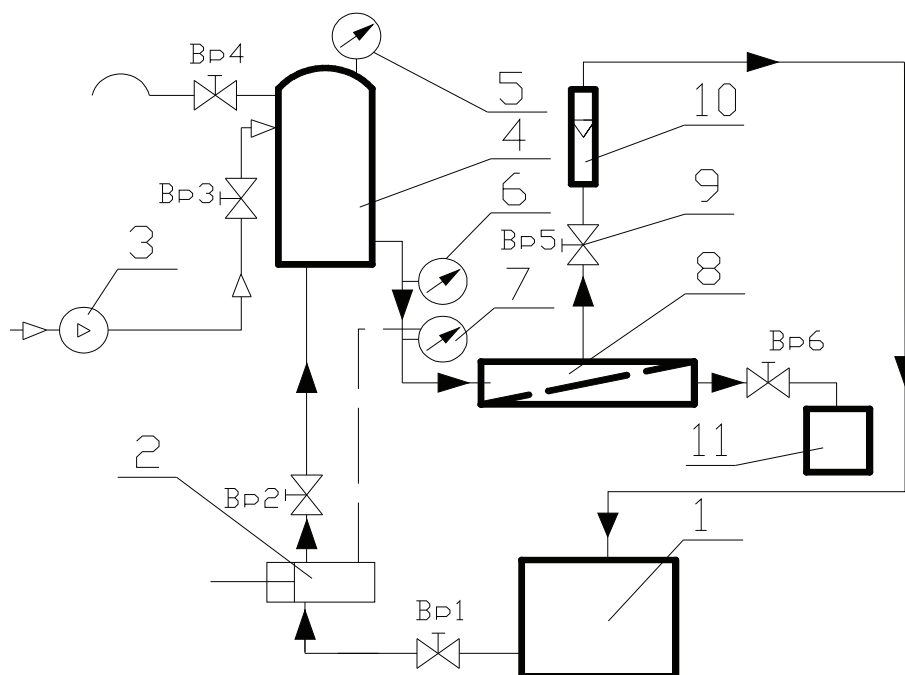
Установка работает следующим образом: из исходной емкости 1 через систему вентиля рабочий раствор нагнетался через ресивер 4 в камеру разделения плунжерным насосом 2. Пройдя рабочий рулонный мембранный модуль 8, дроссель 9 и поплавковый ротаметр 10, разделяемый раствор возвращался обратно в исходную емкость 1, пермеат собирался в емкость 11. Для сглаживания пульсаций давления и расхода рабочего раствора в системе установлен ресивер 4, с манометром 5, предварительно заполненный сжатым воздухом компрессором высокого давления 3. Для контроля и регулирования давления использовался образцовый 6 и электроконтактный 7 манометры. Регулировка давления в системе осуществлялась дросселем 9.

Основным элементом установки являлся разделительный рулонный модуль (см. рис. 2), который представляет собой в сборе обратноосмотический аппарат с элементом ЭРО-К-3,0/475 площадью фильтрации 3 м<sup>2</sup>. Исходный раствор подается через штуцер 4 и движется по межмембранным напорным каналам рулонного элемента в продольном направлении, под действием

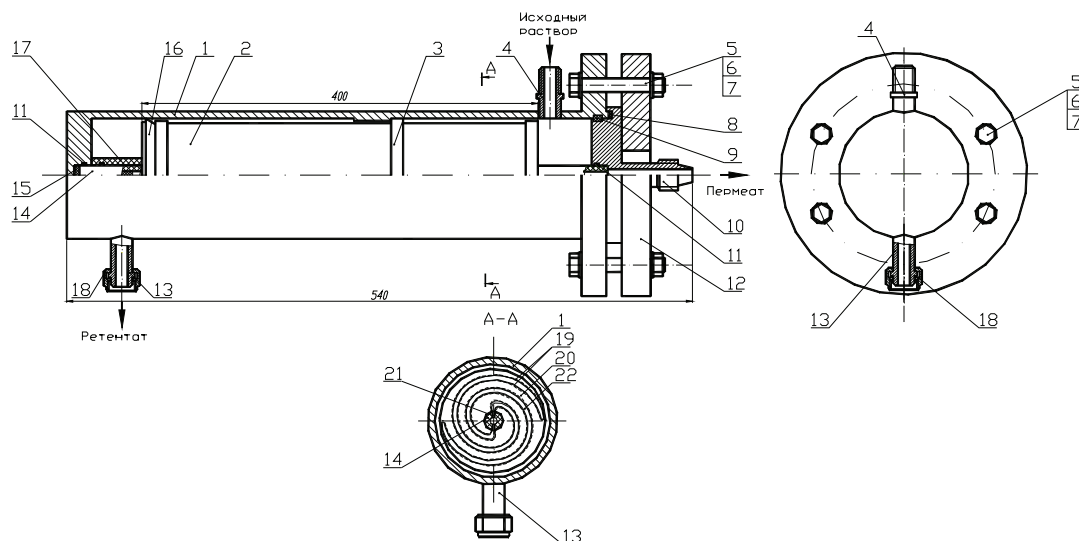
Таблица 1

Характеристики исследуемых мембран

| Рабочие параметры                                             | Тип мембран           |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                               | МГА-95                |
| Рабочее давление, МПа                                         | 5,0                   |
| Производительность по воде, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·с | 1,11·10 <sup>-5</sup> |
| Коэффициент задерживания, по 0,15 % NaCl, не менее            | 0,95                  |
| Рабочий диапазон, pH                                          | 3–8                   |
| Максимальная температура, °С                                  | 50                    |



**Рис. 1.** Схема экспериментальной обратноосмотической установки: 1 – исходная емкость; 2 – насос высокого давления; 3 – компрессор высокого давления; 4 – ресивер; 5 – манометр; 6 – образцовый манометр; 7 – электроконтактный манометр; 8 – рулонный мембранный модуль; 9 – дроссель; 10 – ротаметр; 11 – емкость пермеата



**Рис. 2.** Схема обратноосмотического рулонного модуля: 1 – корпус; 2 – рулонный элемент; 3 – резиновая манжета; 4 – штуцер ввода исходного раствора; 5, 6, 7 – болт, гайка и шайба; 8 – прокладка; 9 – резиновое кольцо; 10 – крышка; 11 – резиновое кольцо; 12 – фланец; 13 – штуцер вывода ретентата; 14 – трубка для отвода пермеата; 15 – заглушка; 16 – решетка; 17 – втулка; 18 – накидная гайка; 19 – мембраны; 20 – сетка-сепаратор (турбулизатор); 21 – отверстия отвода пермеата; 22 – дренажный слой

избыточного давления часть раствора продавливается через мембраны 19 и образует пермеат, а обогащенный растворенными веществами ретентат проходит по всему рулонному элементу и отводится через штуцер вывода ретентата 13.

Пермеат по спирально расположенному дренажному слою поступает через отверстия отвода пермеата 21 в отводящую трубку 14 и выводится из аппарата через крышку 10. Для предотвращения телескопического

эффекта, возникающего вследствие разностей давления у торцов элемента и приводящего к сдвигу слоев в рулоне вдоль его оси, задний торец упирается в антителескопическую решетку 16 (перфорированный диск) и втулку 17.

Для предотвращения байпасирования жидкости в аппарате служит резиновая манжета 3, перекрывающая зазор между рулонным элементом 2 и внутренней стенкой корпуса 1.

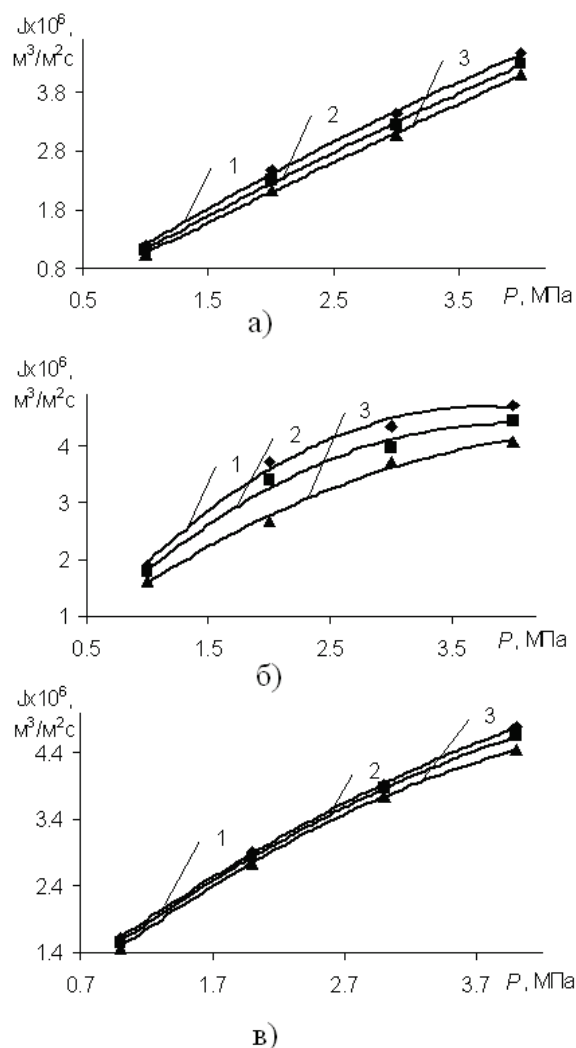


Рис. 3. Экспериментальные зависимости удельного потока растворителя от давления: а) SnSO<sub>4</sub>; б) FeSO<sub>4</sub>; в) ZnSO<sub>4</sub>

Методика проведения эксперимента сводилась к следующему: перед началом эксперимента обратноосмотическую установку промывали дистиллированной водой 6 часов, затем рабочим раствором 6 часов (для предотвращения попадания ранее исследуемых компонентов в исследуемый раствор). Также исследовали образцы мембран на отсутствие дефектов. После предварительной подготовки образцов мембран собирали разделительный модуль рулонного типа и крепили его к установке, показанной на рис. 1. Регулировкой хода плунжера устанавливали заданный расход для обеспечения необходимой скорости в межмембранном канале, одновременно подавая холодную воду для охлаждения плунжера насоса. Далее при закрытом дросселе 9 включали насос. По мере увеличения рабочего давления проводился холостой опыт в течение 30 мин. Затем выключали установку, сбрасывали давление в системе. Собранный раствор из емкости 11 сливали в исходную емкость 1 и оставляли установку на несколько часов, с целью выравнивания концентрации исследуемого раствора по всей системе установки.

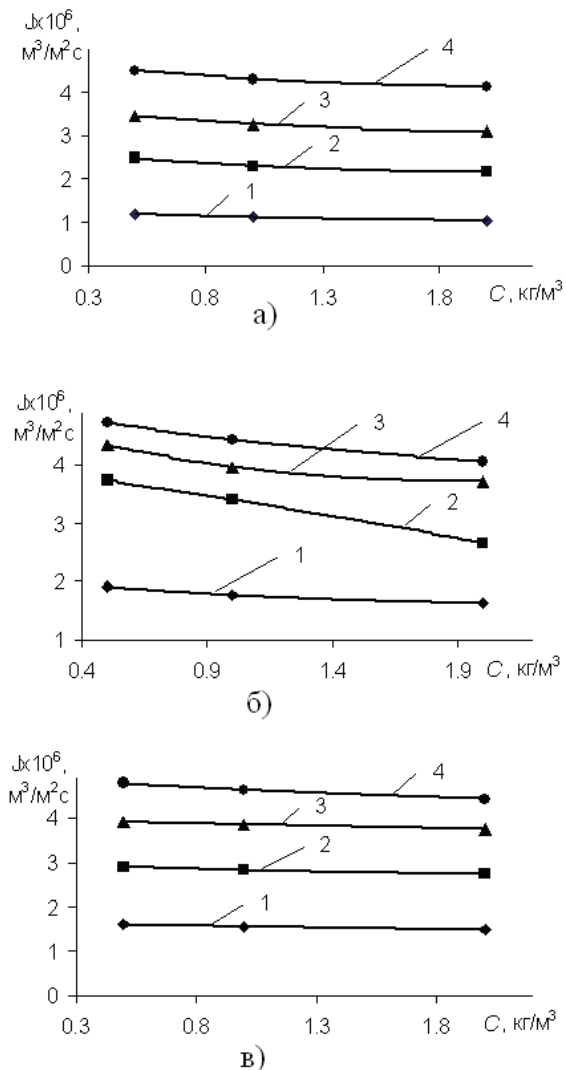


Рис. 4. Экспериментальные зависимости удельного потока растворителя от концентрации: а) SnSO<sub>4</sub>; б) FeSO<sub>4</sub>; в) ZnSO<sub>4</sub>

После выдержки оставшийся раствор в установке сливали в емкость 1. Запускали установку, выводили на рабочий режим и проводили контрольный опыт в течение 4 часов для обжатия образцов мембран и приведения их в нормальное рабочее состояние. После этого проводили рабочий опыт в течение 0,5–2 часов, в зависимости от производительности мембран и необходимого количества собранного пермеата, требуемого для анализа. Время проведения экспериментальных исследований фиксировали секундомером. После рабочего эксперимента сбрасывали давление в системе открытием дросселя 9 и установка отключалась.

Колебания давления и расхода на описанной установке не превышали 5% от установленного значения.

Значение удельного потока растворителя рассчитывали для рулонного модуля по следующей зависимости [8–10]:

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

где  $V$  – объем собранного пермеата,  $\text{м}^3$ ;  $F_m$  – рабочая площадь мембраны,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – время проведения эксперимента, с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами проводились исследования по влиянию давления и вида раствора на коэффициент задержания и удельный поток растворителя. Наиболее распространенные ионы металлов  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ . Разделенные на экспериментальной обратноосмотической установке растворы, содержащие ионы металлов, подвергались анализу по методикам, описанным в [11] (железо (комплексометрический метод), олово (экстракционно-фотометрический метод), цинк (фотометрический диффузионный метод)).

На рис. 3–4 представлены зависимости удельного потока растворителя от давления и концентрации исследуемого раствора, полученного при 295 К. Из приведенных зависимостей видно, что увеличение удельного потока растворителя для всех исследуемых растворов происходит при росте давления. Из представленных зависимостей следует, что удельный поток растворителя при обратном осмосе увеличивается с ростом движущей силы, т. к. увеличивается конвективный поток растворителя через мембрану. Также, анализируя полученные данные, можно отметить, что в нормальном положении мембраны активный слой, опираясь на крупнопористую основу, при повышении давления уплотняется, в результате чего увеличивается коэффициент задержания [8, 9].

Стоит отметить, что возрастание удельного потока растворителя мембран хорошо согласуется с данными, полученными на ацетатцеллюлозных мембранах в работе [12].

## ВЫВОДЫ

1. Впервые разработана экспериментальная обратноосмотическая установка и методика для исследования удельного потока растворителя одномодульного рулонного аппарата при разделении растворов, содержащих ионы металлов.

2. Получены экспериментальные зависимости удельного потока растворителя мембраны МГА-95 от давления для растворов, содержащих ионы металлов.

3. Представлено теоретическое описание зависимостей удельного потока растворителя от давления для мембраны МГА-95 при разделении растворов, содержащих ионы металлов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Терпугов Г. В. Очистка сточных вод технологических жидкостей машиностроительных предприятий с использованием неорганических мембран. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2000. 96 с.
2. Лазарев С.И., Вязовов С.А. // Химия и химическая технология. 2005. Т. 48. № 3. С. 91-94.
3. Мамонтов В.В., Редин Д.Ю., Лазарев К.С., Головащин В.Л. // Химия и химическая технология. 2007. Т. 50. № 9. С. 18-20.
4. Лазарев С.И., Горбачев А.С. // Конденсированные среды межфазные границы. 2005. Т. 7. № 4. С. 409-412.
5. Горбачев А.С., Шапошник В.А., Стамов В.М. // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. № 5. С. 747- 51.
6. Головащин В.Л., Лазарев С.И., Мамонтов В.В., Ворожейкин Ю.А. // Конденсированные среды и межфазные границы. 2009. Т. 11. № 3. С. 203-207.
7. Абоносимов О.А., Лазарев С.И., Лазарев А.С. // Конденсированные среды и межфазные границы. 2009. Т. 11. № 1. С. 16-20.
8. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / пер. с англ. под ред. Ю.П. Ямпольского, В.П. Дубяги. М.: Мир, 1999. 513 с.
9. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
10. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 252 с.
11. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. 448 с.
12. Технологические процессы с применением мембран / пер. с англ. под. ред. Р.Е. Лейси, С. Леба. М.: Мир, 1976. 372 с.

БЛАГОДАРНОСТЬ: Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Поступила в редакцию 12 ноября 2010 г.

Lazarev K.S., Kovalev S.V., Arzamastsev A.A. Kinetic factors of return osmosis division of solutions of metals containing ions

The experiment return osmosis installation and one-modular rolled device is developed for research of detention factor and specific stream of solvent for membrane MGA-95 experimental return osmosis at division of solutions of metals containing salt is developed.

*Key words:* return osmosis; membrane; detention factor; specific stream of solvent.