

УДК 66.081.6

УДЕЛЬНЫЙ ПОТОК РАСТВОРИТЕЛЯ ПРИ БАРОМЕМБРАННОМ РАЗДЕЛЕНИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

© С.В. Ковалев, К.С. Лазарев

Ключевые слова: раствор; мембрана; обратный осмос; удельный поток растворителя; разделение; установка; методика.

Разработана экспериментальная обратноосмотическая установка с одномодульным рулонным аппаратом и методика исследования удельного потока растворителя через мембрану МГА-95 при разделении растворов неорганических солей. Проведены экспериментальные исследования удельного потока растворителя через мембрану МГА-95 по водным растворам сульфата цинка, железа и олова.

Реальные сточные воды машиностроительных предприятий содержат в своем компонентном составе в большей мере неорганические металлосодержащие соединения, которые необходимо извлекать из стоков из-за их ценности, токсичности или возможности вторичного использования. Все это вызывает необходимость исследования и применения баромембранных методов разделения для стоков машиностроительных предприятий [1]. Стоит отметить, что проблемы очистки данных стоков присущи предприятиям Тамбовской области: металлосодержащие стоки после локальных ванн промывки – ОАО «Электроприбор», г. Тамбов.

Широкое применение процесса обратноосмотического разделения сдерживается малоизученностью кинетики массопереноса и отсутствием аппаратурно-технологического оформления для его реализации.

Цель настоящей работы – разработка методики для исследования удельного потока растворителя через обратноосмотическую мембрану МГА-95 при разделении водных растворов, содержащих металлосодержащие соединения.

Большое количество работ по обратноосмотическому разделению водных растворов в России посвящено исследованию влияния неорганических компонентов на удельный поток растворителя через обратноосмотические мембраны на конструкциях плоскокамерных баромембранных аппаратов [2–5].

В литературных источниках представлен ряд исследований по кинетике обратноосмотического разделения на трубчатых мембранных аппаратах, которые применяются при разделении растворов, содержащих неорганические растворенные вещества в большом количестве [6].

Незначительное количество экспериментальных работ посвящено исследованию кинетических коэффициентов для неорганических растворов на баромембранных аппаратах рулонного типа. Эти работы носят отрывистый характер и сопровождаются достаточно типовыми конструкциями экспериментальных установок [7]. Для исследования кинетических коэффициентов обратноосмотического разделения растворов, содержащих растворенные неорганические соли, пред-

ложена усовершенствованная методика и конструкция одномодульного рулонного аппарата.

При экспериментальных исследованиях использовалась серийно выпускаемая ЗАО НТЦ «Владипор» мембрана МГА-95. Структура мембраны представляет собой пористую полимерную полупрозрачную пленку на основе ацетатов целлюлозы МГА-95 (нетканый полипропилен, тканый и нетканый лавсан). Характеристики исследуемых мембран представлены в табл. 1.

Неорганические вещества, эмитирующие реальные стоки гальванических производств ОАО «Электроприбор», после локальных ванн промывки подвергались разделению на экспериментальной установке, представленной на рис. 1.

Установка работает следующим образом: из исходной емкости 1 через систему вентилях 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 регулировки давления использовался образцовый 6 и электроконтактный 7 манометры. Регулировка давления в системе осуществлялась дросселем 9.

Таблица 1

Характеристики исследуемых мембран

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

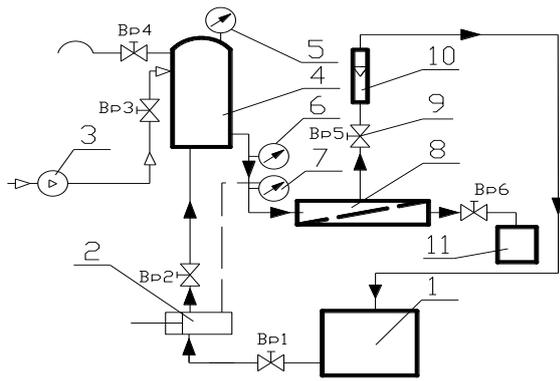


Рис. 1. Схема экспериментальной обратноосмотической установки: 1 – исходная емкость; 2 – насос высокого давления; 3 – компрессор высокого давления; 4 – ресивер; 5 – манометр; 6 – образцовый манометр; 7 – электроконтактный манометр; 8 – рулонный мембранный модуль; 9 – дроссель; 10 – ротаметр; 11 – емкость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

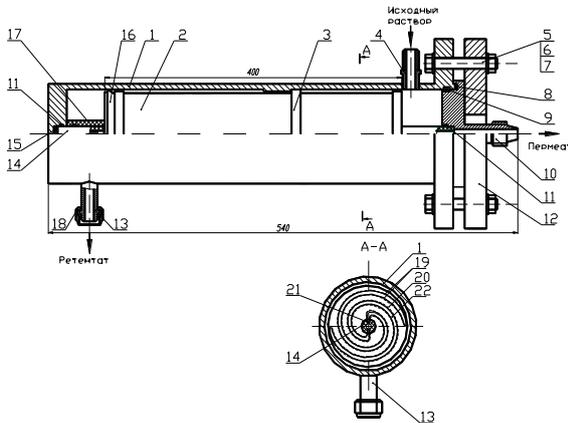


Рис. 2. Схема обратноосмотического рулонного модуля: 1 – корпус; 2 – рулонный элемент; 3 – резиновая манжета; 4 – штуцер ввода исходного раствора; 5, 6, 7 – болт, гайка и шайба; 8 – прокладка; 9 – резиновое кольцо; 10 – крышка; 11 – резиновое кольцо; 12 – фланец; 13 – штуцер вывода ретентата; 14 – трубка 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

Основным элементом установки являлся разделительный рулонный модуль (рис. 2), который представляет собой в сборе обратноосмотический аппарат с элементом ЭРО-К-3,0/475 площадью фильтрации 3 м².

Исходный раствор подается через штуцер 4 и движется по межмембранным напорным каналам рулонного элемента в продольном направлении, под действием 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 антитеlescопическую 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.

Методика проведения эксперимента сводилась к следующему: перед началом эксперимента обратноосмотическую установку промывали дистиллированной водой 6 ч, затем рабочим раствором 6 ч (для предотвращения попадания ранее исследуемых компонентов в исследуемый раствор). После предварительной подготовки рулонного элемента собирали разделительный модуль 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. После выдержки оставшийся раствор в установке сливали в емкость 1. Запускали установку, выводили на рабочий режим и проводили контрольный опыт в течение 4 ч для обжатия образцов мембран и приведения их в нормальное рабочее состояние. После этого проводили рабочий опыт в течение 0,5–2 ч, 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 отключением 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, м³; F_m – рабочая площадь мембраны, м²; τ – время проведения эксперимента, с.

В работе проводились исследования по влиянию концентрации на удельный поток растворителя через мембраны. Наиболее распространенные в промышленности при гальванической обработке поверхностей деталей и механизмов являются водные растворы неорганических веществ, образующиеся после промывки их в каскадных ваннах. Подвергшиеся разделению на экспериментальной обратноосмотической установке модельные водные растворы, содержащие растворенные соли металлов, подвергались анализу по методикам, описанным в [11].

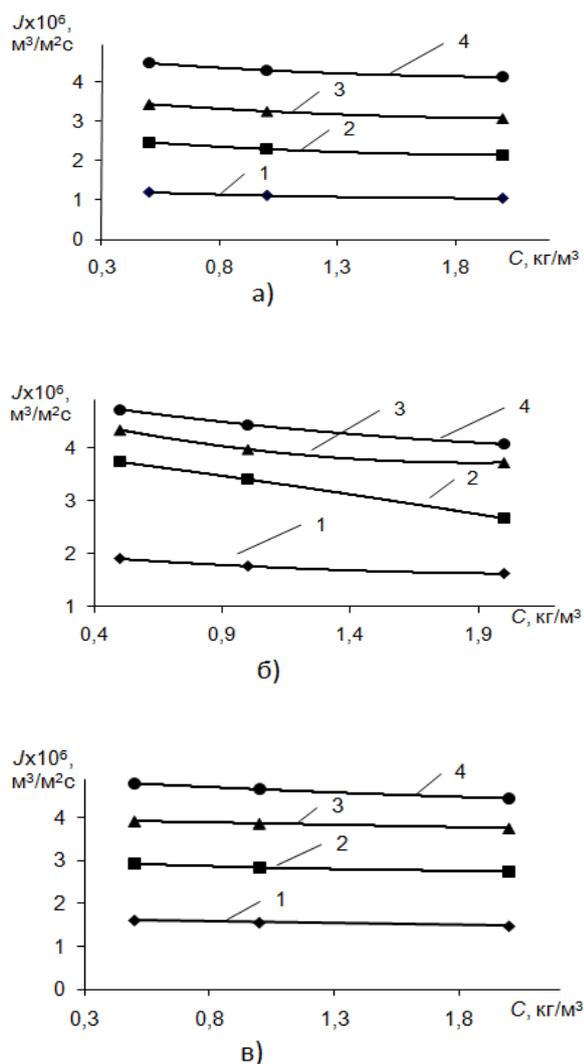


Рис. 3. Экспериментальная зависимость удельного потока растворителя для мембраны МГА-95 от концентрации исследуемого раствора: а) водный раствор сульфата олова; б) водный раствор сульфата цинка; в) водный раствор сульфата железа. Рабочее давление: 1 – 1 МПа; 2 – 2 МПа; 3 – 3 МПа; 4 – 4 МПа

На рис. 3 представлены зависимости удельного потока растворителя через мембрану МГА-95 от концентрации, полученные при 295 К и $pH = 3 \div 4$.

Удельный поток растворителя для мембраны МГА-95 от исходной концентрации соли в растворе рис. 3 по водному раствору сульфата цинка, олова и железа снижается из-за того, что возрастает осмотическая составляющая давления в растворе при его концентрировании и соответственно снижается эффективная движущая сила процесса баромембранного разделения. Значение удельного потока растворителя для ацетатцеллюлозной мембраны зависит также и от скорости прокачки раствора над поверхностью мембраны, от вида взаимодействия растворенного вещества с поверхностью мембраны и ее пористой структурой [11].

ВЫВОДЫ

1. Разработана экспериментальная обратноосмотическая установка и методика, позволяющая исследовать удельный поток растворителя на одномодульном рулонном аппарате при разделении металлсодержащих растворов.

2. Получены экспериментальные данные, устанавливающие зависимость удельного потока растворителя для мембраны МГА-95 от концентрации и вида исследуемых растворов.

3. Представлено теоретическое описание зависимостей удельного потока растворителя для мембраны МГА-95 от концентрации и вида исследуемых растворов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тертугов 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. Исследования кинетических характеристик ионообменной мембраны МК-40 при обратноосмотическом разделении водных растворов беллофора // Химия и химическая технология. 2005. Т. 48. № 3. С. 91-94.
3. Мамонтов В.В., Редин Д.Ю., Лазарев К.С., Головащин В.Л. Исследование коэффициента задержания и удельной производительности в процессе обратноосмотической очистки технической воды // Химия и химическая технология. 2007. Т. 50. № 9. С. 18-20.
4. Лазарев С.И., Горбачев А.С. Исследование коэффициента задержания и удельного потока растворителя при обратноосмотическом разделении раствора сульфанилата натрия // Конденсированные среды межфазные границы. 2005. Т. 7. № 4. С. 409-412.
5. Лазарев С.И., Горбачев А.С., Шапошник В.А., Стамов В.М. Исследование кинетических характеристик обратноосмотического разделения водных растворов сульфанилата натрия // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. № 5. С. 747-751.
6. Головащин В.Л., Лазарев С.И., Мамонтов В.В., Ворожейкин Ю.А. Математическое моделирование обратноосмотического аппарата трубчатого типа // Конденсированные среды и межфазные границы. 2009. Т. 11. № 3. С. 203-207.
7. Абоносимов О.А., Лазарев С.И., Лазарев А.С. О некоторых особенностях гидродинамики потока раствора в баромембранных аппаратах рулонного типа // Конденсированные среды и межфазные границы. 2009. Т. 11. № 1. С. 16-20.
8. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 252 с.
9. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
10. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / пер. с англ. под ред. Ю.П. Ямпольского, В.П. Дубяги. М.: Мир, 1999. 513 с.
11. Крешков А.П. // Основы аналитической химии. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. М.: Химия, 1970. 472 с.

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

Поступила в редакцию 16 января 2012 г.

Kovalev S.V., Lazarev K.S. SOLVENT FLUX AT BAROMEMBRANE SEPARATION OF WATER SOLUTIONS OF METAL-WORKING INDUSTRIES

An experimental reverse-osmosis system with single module roll apparatus and method of investigation of the solvent flux through the membrane of MGA-95 for the separation of solutions of inorganic salts is developed. Experimental studies of the solvent flux through the membrane MGA-95 for water solutions of zinc sulphate, iron and tin are made.

Key words: solution; membrane; reverse osmosis; solvent flux; separation; setting; methodology.