

УДК 66. 081. 6-278

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФфуЗИИ И СОРБЦИИ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ ЧЕРЕЗ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ

© О.А. Абоносимов, С.И. Лазарев, А.М. Акулиничев, Д.О. Абоносимов

Ключевые слова: диффузионная проницаемость; сорбция; обратноосмотическая мембрана; растворенные вещества.

Исследован коэффициент диффузионной проницаемости и сорбционная емкость обратноосмотических мембран в зависимости от типа мембран, растворов и концентрации. Проанализированы и объяснены зависимости коэффициентов диффузионной проницаемости мембран МГА-95, МГА-95П, МГА-100 и ОПМ-К от концентрации для растворов хрома, меди, анилина и морфолина. Получены аппроксимационные зависимости коэффициента диффузии мембран МГА-95, МГА-95П, МГА-100 и ОПМ-К от концентрации.

ВВЕДЕНИЕ

При инженерных методиках расчета процесса обратного осмоса необходимо иметь экспериментальные данные по кинетическим параметрам массопереноса. Одной из составляющих массопереноса при обратноосмотическом разделении является диффузионная проницаемость мембран – это процесс переноса растворенных веществ через мембрану под действием градиента концентраций [1–2].

Процесс диффузионной проницаемости протекает по следующим стадиям:

- сорбция растворенного вещества мембраной из раствора;
- диффузия через мембрану;
- десорбция растворенного вещества с другой стороны мембраны.

Для количественной оценки диффузионной проницаемости введен коэффициент диффузионной проницаемости P_D , который зависит от типа мембраны, раствора и концентрации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В экспериментальных исследованиях использовались растворы хрома, меди, анилина и морфолина как основные компоненты промышленных стоков. В исследованиях использовались ацетатцеллюлозные мембраны МГА-95, МГА-95П, МГА-100 и ОПМ-К.

Исследования по определению диффузионной проницаемости мембран проводились на установке, схема которой приведена на рис. 1.

Установка состоит из трехкамерной термостатируемой ячейки I–II–III, камеры которой разделяются мембранами 1 и 2, которые фиксируются с помощью решеток из оргстекла 15, емкостей для исходных 3–5 и отработанных 6–8 растворов, магнитных мешалок 9–11. Для поддержания необходимой температуры растворов в каждую камеру были встроены змеевиковые теплообменники 19–21, в которых циркулировала вода

из термостатов 25–27. Контроль над температурой в камерах I–II–III осуществляется с помощью потенциометров 22–24, подключенных к термопарам 16–18 градуировки ХК. Объем камер ячейки – $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

Рабочая площадь мембран составляла $2,67 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. Материал выполнения камер I–II–III – оргстекло.

Исследования по определению диффузионной проницаемости осуществляются по следующей методике. Предварительно подготовленные мембраны размещаются в трехкамерной ячейке. Камеры I–III заполняются раствором необходимой концентрации.

Для установления стационарного диффузионного потока растворы остаются в камерах продолжительное время (10...14 ч), а затем сливаются. После этого камеры ячейки в течение 15 мин. промываются дистиллированной водой. Затем проводят заполнение камер (I–III) раствором необходимой концентрации с помощью емкостей исходных растворов 3–5. После этого включают магнитные мешалки для интенсивного перемешивания растворов во время эксперимента.

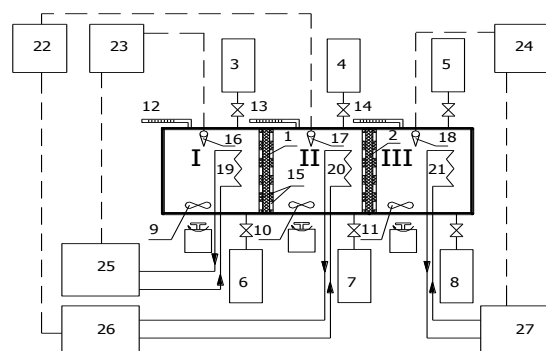


Рис. 1. Схема установки для исследования диффузионного потока: 1, 2 – мембраны; 3–5 – емкости для исходных растворов; 6–8 – емкости для отработанных растворов; 9–11 – магнитные мешалки; 12–14 – измерительные капилляры; 15 – решетки; 16–18 – термопары; 19–21 – змеевиковые теплообменники; 22–24 – потенциометры; 25–27 – термостаты

В результате предварительных калибровочных опытов было определено оптимальное время проведения эксперимента, которое составляет 5 часов. После проведения эксперимента производят отбор проб из камер I–II–III через емкости отработанных растворов 6–8. После определения концентрации растворов до и после эксперимента рассчитывают диффузионную проницаемость мембран.

Коэффициент диффузионной проницаемости P_d рассчитывали по формуле (1):

$$P_d = \frac{C_2 \cdot V_2 \cdot \delta}{(C_1 - C_2) \cdot F_M \cdot \tau}, \quad (1)$$

где V_2 – объем раствора в II камере; δ – толщина набухшей мембраны; F_M – рабочая площадь набухшей мембраны; $C_{1,2}$ – концентрации растворенного вещества в камерах I и II; τ – время проведения эксперимента.

Зависимости коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации растворов хрома, меди, анилина и морфолина представлены на рис. 2–5.

При анализе представленных зависимостей можно отметить, что с ростом концентрации диффузионная проницаемость по исследуемым растворам возрастает. Это можно объяснить природой растворенных веществ. На рис. 6–9 представлены изотермы сорбции мембран МГА-95, МГА-95П, МГА-100 и ОПМ-К для водных растворов меди, хрома, анилина и морфолина.

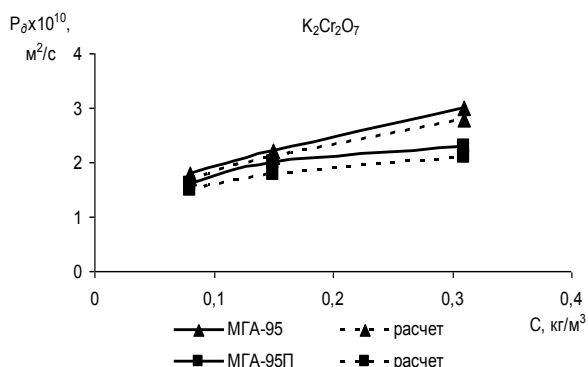


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации раствора $K_2Cr_2O_7$

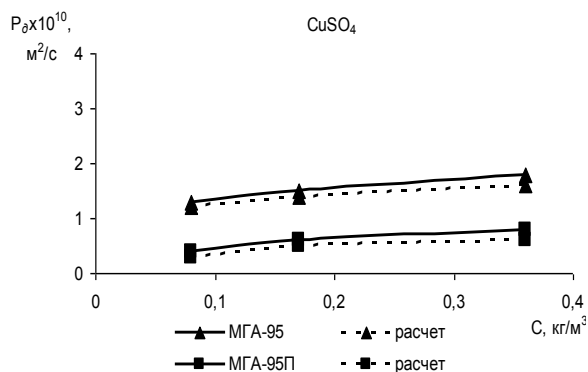


Рис. 3. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации раствора $CuSO_4$

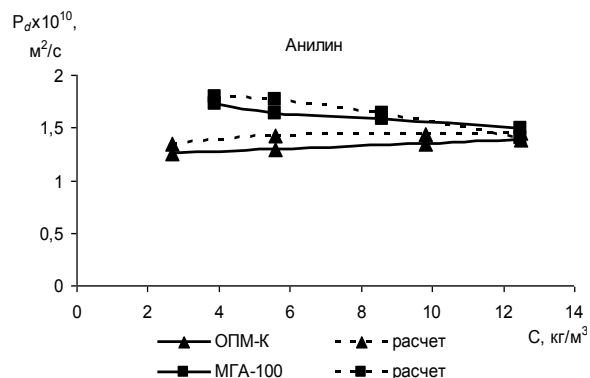


Рис. 4. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации раствора анилина

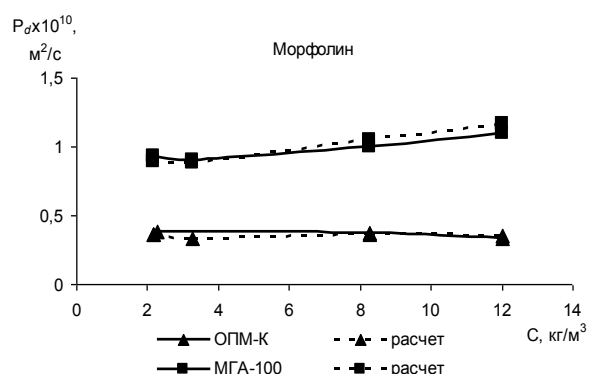


Рис. 5. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации раствора морфолина

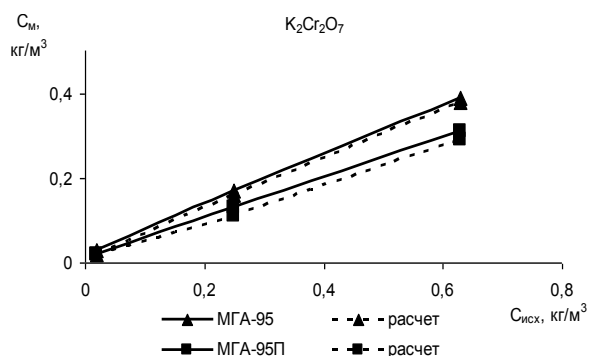


Рис. 6. Изотермы сорбции мембран для раствора $K_2Cr_2O_7$

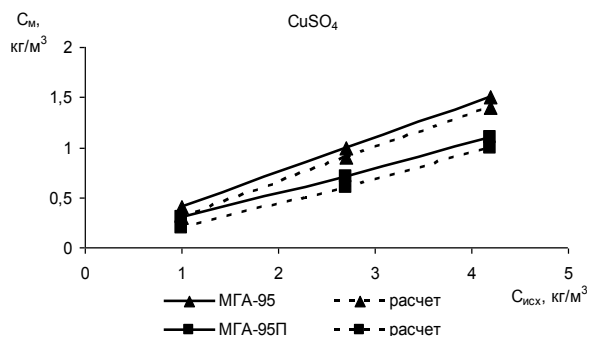


Рис. 7. Изотермы сорбции мембран для раствора $CuSO_4$

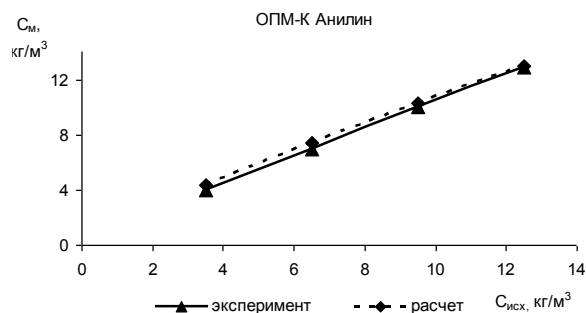


Рис. 8. Изотерма сорбции мембраны ОПМ-К для раствора анилина

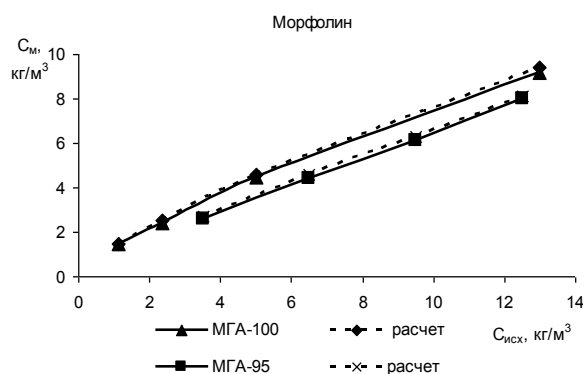


Рис. 9. Изотермы сорбции мембран для раствора морфолина

Из изотерм сорбции видно, что с повышением концентрации сорбционная емкость мембран возрастает. Это объясняется гипотезой, основанной на сорбционно-диффузионном поведении системы, известном сегодня как механизм растворения-диффузии. По экспериментальным данным диффузионной проницаемости и сорбционной емкости рассчитывали экспериментальный коэффициент диффузии растворов через мембраны по формуле (2):

$$D_{\partial} = \frac{P_{\partial} \cdot C_{исх}}{\bar{C}}, \quad (2)$$

где $\bar{C}$ – концентрация вещества в мембране.

По представленным в табл. 1 данным видно, что с повышением концентрации в исходном растворе коэффициент диффузии увеличивается для всех растворов и типов мембран. Увеличение коэффициента диффузии с ростом концентрации характерно для сильноразбавленных растворов, к которым относятся исследуемые растворы [3–4].

По экспериментальным данным были рассчитаны аппроксимационные зависимости коэффициента диффузии от концентрации исследуемых растворов:

$$D_{\partial} = b \cdot C^n, \quad (3)$$

где b , n – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2.

Погрешность расчетных и экспериментальных значений коэффициента диффузии не превышала ($\pm 15\%$).

Таблица 1

Значения коэффициентов диффузии

Мембрана	Раствор	Концентрация $C_{исх}$, кг/м³	Коэффициент диффузии $D_{\partial} \cdot 10^{10}$, м²/с
МГА-95	CuSO ₄	0,08	4,61
		0,16	4,80
		0,36	5,18
	K ₂ Cr ₂ O ₇	0,08	3,81
		0,15	4,70
		0,31	5,88
МГА-95П	CuSO ₄	0,08	2,30
		0,16	2,35
		0,36	2,80
	K ₂ Cr ₂ O ₇	0,08	4,63
		0,15	5,15
		0,31	6,15
МГА-100	Анилин	3,9	0,28
		5,6	0,27
		8,6	0,27
		12,5	0,26
	Морфолин	2,2	0,93
		3,3	1,07
ОПМ-К	Анилин	8,3	1,4
		12,0	1,7
	Морфолин	2,7	0,37
		5,7	0,46
	Анилин	9,8	0,52
		12,5	0,54
	Морфолин	2,2	0,30
		3,3	0,38
		8,3	0,42
		12,0	0,45

Таблица 2

Коэффициенты уравнения (3)

Мембрана	Раствор	$b \cdot 10^{10}$	n
МГА-95	CuSO ₄	5,34	0,06
	K ₂ Cr ₂ O ₇	8,44	0,31
МГА-95П	CuSO ₄	3,22	0,13
	K ₂ Cr ₂ O ₇	7,13	0,17
МГА-100	Анилин	5,10	0,22
	Морфолин	1,79	0,44
ОПМ-К	Анилин	1,1	0,16
	Морфолин	1,67	0,31

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования коэффициента диффузионной проницаемости и сорбционной емкости обратноточеских мембран в зависимости от типа мембран, растворов и концентрации.

2. Проанализированы и объяснены зависимости коэффициентов диффузионной проницаемости и сорбционной емкости мембран МГА-95, МГА-95П, МГА-100 и ОПМ-К от концентрации для растворов.

3. Получены аппроксимационные зависимости коэффициента диффузии мембран МГА-95 и МГА-95П, МГА-100 и ОПМ-К от концентрации для растворов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 252 с.
2. Хванг С.Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения: пер. с англ. / под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия, 1981. 464 с.
3. Николаев Н.И. Диффузия в мембранах. М.: Химия, 1980. 232 с.
4. Лазарев С.И., Мамонтов В.В., Ковалев С.В., Лазарев К.С. Коэффициенты диффузионной проницаемости кальция сернистого через мембранные элементы трубчатого типа // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50. Вып. 5. С. 120-122.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке гранта по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» по теме «Научные

основы исследования структуры поверхности, радиуса пор и водопроницаемости мембран».

Поступила в редакцию 8 апреля 2013 г.

Abonosimov O.A., Lazarev S.I., Akulinichev A.M., Abonosimov D.O. DIFFUSION AND SORPTION STUDIES OF MAIN COMPONENTS OF INDUSTRIAL WASTE WATER THROUGH REVERSE OSMOSIS MEMBRANES

The diffusion permeability coefficient and sorption capacity reverse osmosis membranes, depending on the type of membrane, solutions and concentration are investigated. According to the diffusion coefficients of membrane permeability MGA-95, MGA-95P, MGA-100 and OPM-K from the concentration for solutions of chromium, copper, aniline and morpholine are analyzed and explained. Approximation of the diffusion coefficient of membranes MGA-95, MGA-95P, MGA-100 and OPM-K on the concentration is obtained.

Key words: diffusion permeability; sorption; reverse osmosis membrane; solutes.