



УДК 66. 081. 6-278

## О некоторых особенностях диффузии солей гальваностокков через обратноосмотические мембраны

Абоносимов О.А., Лазарев С.И., Абоносимов Д.О.

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов

Поступила в редакцию 10.09.2011 г.

### Аннотация

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

**Ключевые слова:** диффузионная проницаемость, обратноосмотическая мембрана, растворенные вещества.

The factor diffusion permeability of reverse osmosis membranes depending on types of membranes, solutions and concentration ave investigated. Dependences of factors of diffusion permeability of membranes MGA-95 and MGA-95P from concentration for chrome and copper solutions are analysed and explained.

**Keywords:** diffusion permeability, reverse osmosis membrane, the dissolved substances

### 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:

- подвод растворенного вещества из ядра потока к активному слою мембраны,
- сорбция растворенного вещества мембраной из пограничного слоя,
- диффузия через мембрану,
- десорбция растворенного вещества из подложки в пограничный слой с другой стороны мембраны,
- отвод растворенного вещества из пограничного слоя в раствор.

Для количественной оценки диффузионной проницаемости введен коэффициент диффузионной проницаемости  $P_0$ , который зависит от типа мембраны, раствора и концентрации.

### Эксперимент

Задачей исследования является изучение диффузионной проницаемости и сорбционной емкости обратноосмотических мембран в зависимости от типа мембран, растворов и концентрации.

В качестве экспериментальных растворов использовались соли хрома и меди, как основные компоненты гальваностокков. В исследованиях использовались ацетатцеллюлозные мембраны МГА-95 и МГА-95П.

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

Установка состоит из трёхкамерной термостатируемой ячейки I-II-III, камеры которой разделяются мембранами 1 и 2, которые фиксируются с помощью решёток 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 –  $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ .

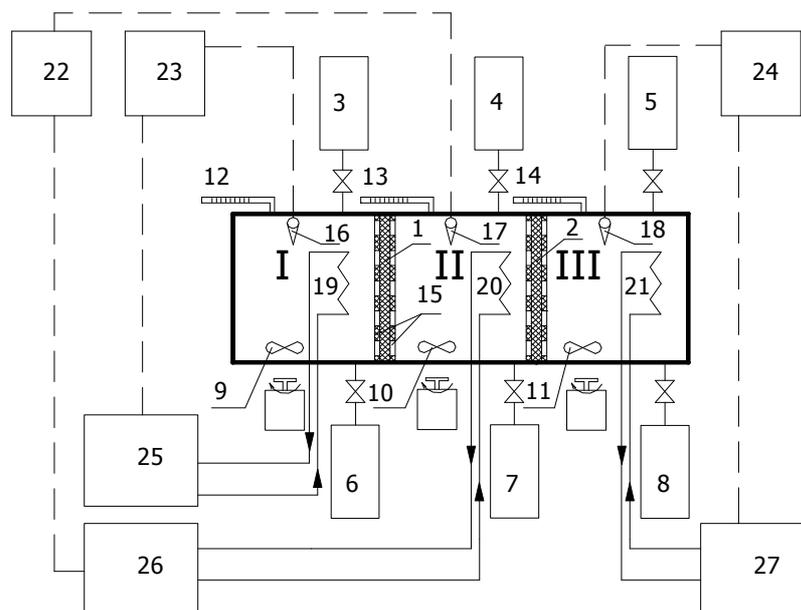


Рис. 1. Схема установки для исследования диффузионного потока:  
1, 2 – мембраны; 3-5 – емкости для исходных растворов; 6-8 – емкости для отработанных растворов; 9-11 – магнитные мешалки; 12-14 – измерительные капилляры; 15 – решетки; 16-18 – термопары; 19-21 – змеевиковые теплообменники; 22-24 – потенциометры;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

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

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 минут 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.

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.

### Обсуждение результатов

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;  $\delta$  – толщина набухшей мембраны;  $F_M$  – рабочая площадь набухшей мембраны;  $C_{1,2}$  – концентрации растворенного вещества в камерах I и II;  $\tau$  – время проведения эксперимента.

Зависимости коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации растворов хрома и меди представлены на рис.2-3.

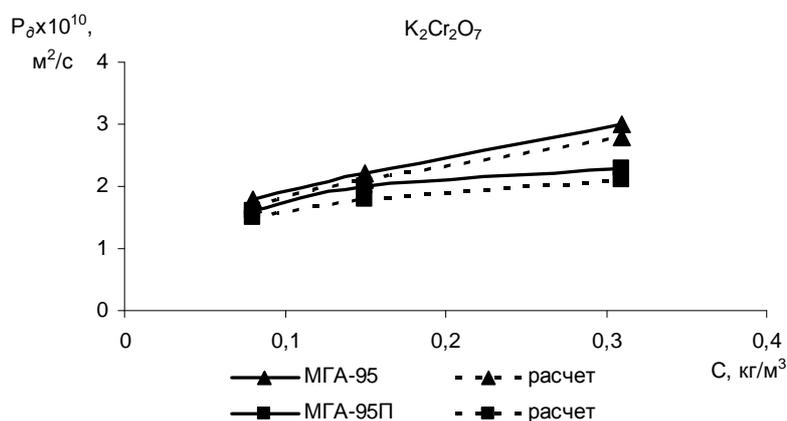


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации раствора  $K_2Cr_2O_7$

При анализе представленных зависимостей можно отметить, что с ростом концентрации диффузионная проницаемость по меди и хрому возрастает. Это можно объяснить природой растворенных веществ.

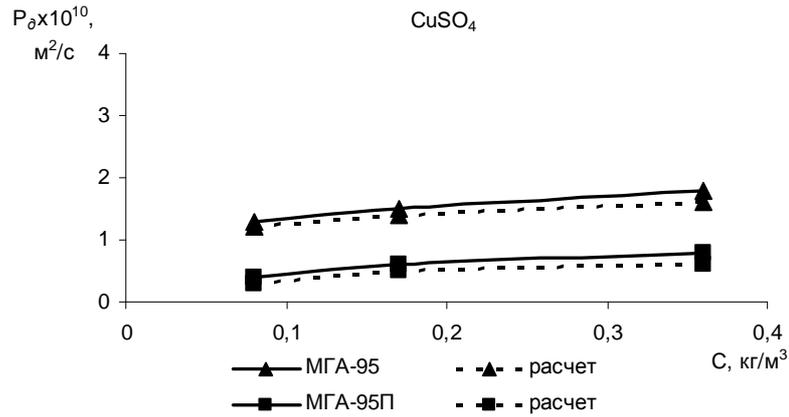


Рис. 3. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации раствора CuSO<sub>4</sub>

На рис. 4-5 представлены изотермы сорбции мембран МГА-95, МГА-95П для водных растворов меди и хрома.

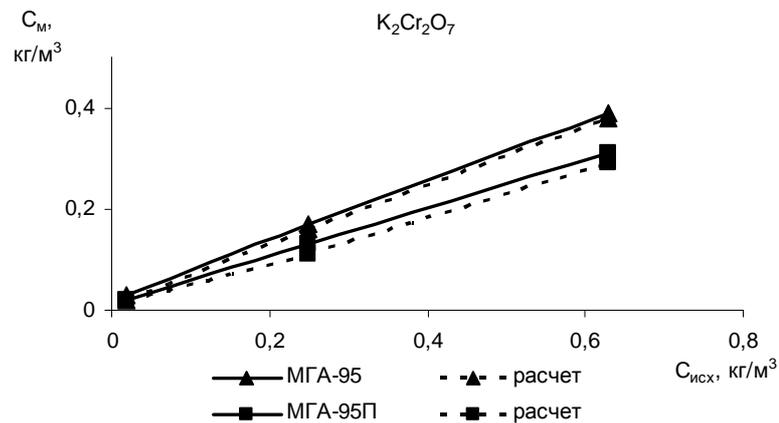


Рис. 4. Изотермы сорбции мембран для раствора K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>

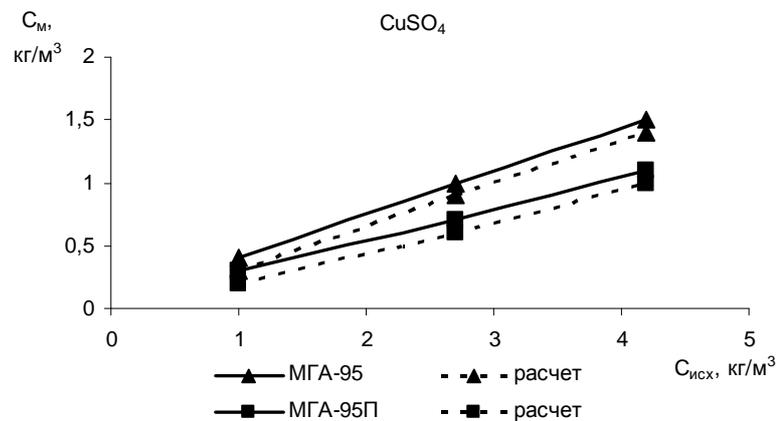


Рис. 5. Изотермы сорбции мембран для раствора CuSO<sub>4</sub>

Из изотерм сорбции видно, что с повышением концентрации сорбционная емкость мембран возрастает. Это объясняется гипотезой, основанной на сорбционно-диффузионном поведении системы, известный сегодня как механизм растворения-диффузии.

По экспериментальным данным по диффузионной проницаемости и сорбционной емкости рассчитывали экспериментальный коэффициент диффузии солей хрома и меди через мембраны по следующей формуле:

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

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

Таблица 1. Значения коэффициентов диффузии

Мембрана	Раствор	Концентрация $C_{исх}$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент диффузии $D_{\partial} \cdot 10^{10}$ , м <sup>2</sup> /с
МГА-95	CuSO <sub>4</sub>	0.08	4.61
		0.16	4.80
		0.36	5.18
	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0.08	3.81
		0.15	4.70
		0.31	5.88
МГА-95П	CuSO <sub>4</sub>	0.08	2.30
		0.16	2.35
		0.36	2.80
	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0.08	4.63
		0.15	5.15
		0.31	6.15

По представленным данным в табл. 1 видно, что с повышением концентрации в исходном растворе коэффициент диффузии увеличивается для обоих растворов и типов мембран. Увеличение коэффициента диффузии с ростом концентрации характерно для сильноразбавленных растворов, к которым относятся исследуемые растворы [3-5].

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.

Таблица 2. Коэффициенты уравнения 3

Мембрана	Раствор	$b \cdot 10^{10}$	$n$
МГА-95	CuSO <sub>4</sub>	5.34	0.06
	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	8.44	0.31
МГА-95П	CuSO <sub>4</sub>	3.22	0.13
	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	7.13	0.17

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

## Заключение

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

Проанализированы и объяснены зависимости коэффициентов диффузионной проницаемости и сорбционной емкости мембран МГА-95 и МГА-95П от концентрации для растворов хрома и меди.

Получены аппроксимационные зависимости коэффициента диффузии мембран МГА-95 и МГА-95П от концентрации для растворов хрома и меди.

*Работа выполнена при поддержке гранта по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2010-2012 гг.» по теме «Теоретические и прикладные исследования массопереноса и гидродинамики течения раствора в пористых телах с целью совершенствования и разработки мембран».*

## Список литературы

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. и др. Коэффициенты диффузионной проницаемости кальция сернокислого через мембранные элементы трубчатого типа // Иваново: Изв. Вузов. Химия и химическая технология, 2007. – Т.50, Вып.5, С.120-122.
5. Чепеняк П.А., Головашин В.Л., Лазарев С.И. Диффузионная проницаемость триполифосфата натрия через ультрафильтрационные мембраны из водного раствора // Иваново: Изв. Вузов. Химия и химическая технология, 2010. – Т.53, Вып.8, С.135-137.

---

**Абоносимов Олег Аркадьевич** – к.т.н., доцент кафедры «Прикладная геометрия и компьютерная графика», Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, тел. (4752)63-03-70

**Лазарев Сергей Иванович** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная геометрия и компьютерная графика», Тамбовский государственный технический университет, Тамбов

**Абоносимов Дмитрий Олегович** – студент экономического факультета, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов

**Abonosimov Oleg A.** - The senior lecturer of chairs “Applied geometry and the computer drawing”, the Tambov state technical university, Tambov, e-mail: [geometry@mail.nnn.tstu.ru](mailto:geometry@mail.nnn.tstu.ru)

**Lazarev Sergey I.** - The professor managing chairs “Applied geometry and the computer drawing”, the Tambov state technical university, Tambov

**Abonosimov Dmitry O.** - The student of economic faculty, the Tambov state technical university, Tambov