



УДК 66.081.6

## Исследование электрокинетических характеристик обратноосмотических полупроницаемых мембран в водных растворах гидрокарбоната натрия

Лазарев С.И., Головин Ю.М., Мицул И.П., Никитенков Д.О.,  
Поликарпов В.М., Хорохорина И.В., Холодилин В.Н.

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов*

Поступила в редакцию 5.06.2013 г.

### Аннотация

Проведены исследования электрокинетических характеристик обратноосмотических полупроницаемых мембран. Получены экспериментальные кривые зависимости потенциала от времени процесса сорбции гидрокарбоната натрия мембранами МГА-95 и МГА-100. Расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 10 %. Разработанный способ определения мембранного потенциала в процессе сорбции гидрокарбоната натрия можно использовать в качестве методики тестирования полимерных полупроницаемых мембран.

**Ключевые слова:** мембрана, сорбция, потенциал, методика.

Investigations of electrokinetic characteristics of reverse osmosis semipermeable membranes are searched. We obtained experimental curves thought the potential, depending on the sorption's of membranes MGA and MGA-95-100. The discrepancy between calculated and experimental data does not exceed 10%. Developed method of determining membrane potential in the sorption's process can be used as test methods for semipermeable polymeric membranes.

**Keywords:** membrane, sorption, , potential, method

### Введение

К современным мембранным процессам разделения промышленных растворов и стоков предъявляют высокие требования по коэффициенту задержания и водопроницаемости мембран. Поэтому изучение структуры мембран и их тестирование имеют важное научно-прикладное значение для проектирования и конструирования мембранных элементов и аппаратов [1-3].

Отметим, что реальное рабочее состояние мембраны - это набухшее состояние и поэтому в таком состоянии следует проводить исследования общей пористости, радиуса пор и структуры поверхности мембраны [4-5]. Процесс набухания - результат работы сорбционных процессов под действием электрических зарядов, создаваемых мембранной разностью потенциалов, что позволяет обнаружить некоторую связь с потоком ионов, молекул раствора в поровом пространстве мембраны [6-8].

## Эксперимент

Целью настоящей работы явилось исследование электрокинетических характеристик обратноосмотических мембран МГА – 95, МГА – 100 в процессе сорбции гидрокарбоната натрия с измерением разности потенциалов.

Для изучения процесса сорбции гидрокарбоната натрия измерялись разности потенциалов на мембранах МГА-95, МГА-100 в разборной ячейке с двумя симметричными сосудами, в которых закреплялись угольные электроды и манометрические трубки [6]. Мембраны площадью  $78,5\text{мм}^2$  фиксировались между сосудами резьбовым соединением. Электроды площадью  $3,14\text{мм}^2$ , которые готовились из спектральных угольных электродов, пропитывались расплавленным парафином с последующей полировкой торцов, располагались соосно у поверхности мембраны с постоянным расстоянием. Сосуды одновременно заполнялись дистиллированной водой.

Разность потенциалов измерялась высокоомным цифровым вольтметром INSTEK GDM-8246 с последующей передачей данных через COM-порт по специальной, созданной программе сбора данных в программных компонентах ПК с возможностью записи через 0,5сек., что позволяло следить за величиной  $\varphi(t)$  в реальном времени.

## Обсуждение результатов

Полученные экспериментальные данные по зависимости потенциала от времени процесса сорбции воды обратноосмотическими полупроницаемыми мембранами вида МГА-95 и МГА-100 приведены на рис. 1.

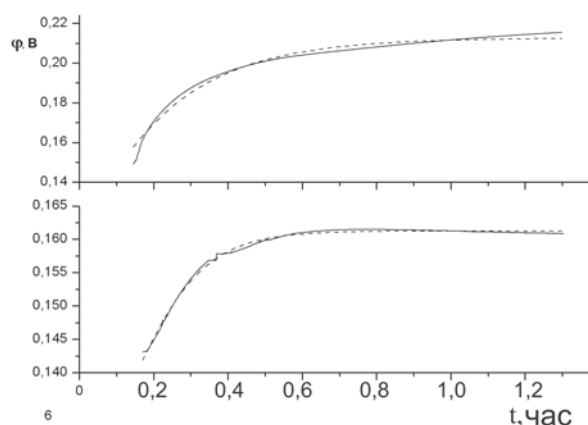


Рис. 1. Зависимость  $\varphi(t)$  при сорбции воды мембранами МГА-100(верх), МГА-95(низ) (кривые — экспериментальная, ---- теоретическая)

В процессе анализа полученных данных по сорбции воды (рис. 1) возникла необходимость выполнить измерения потенциала на мембранах МГА-95, МГА-100 при прямом осмосе. В этом случае сосуды одновременно наполнялись с одной стороны (дистиллированной водой) растворителем, а с другой стороны 5% раствором соды ( $\text{NaHCO}_3$ ).

Экспериментальные кривые при одновременном действии диффузионных и осмотических процессов представлены в виде зависимости мембранных потенциалов от времени  $\varphi = f(t)$  при прямом осмосе на рис.(2).

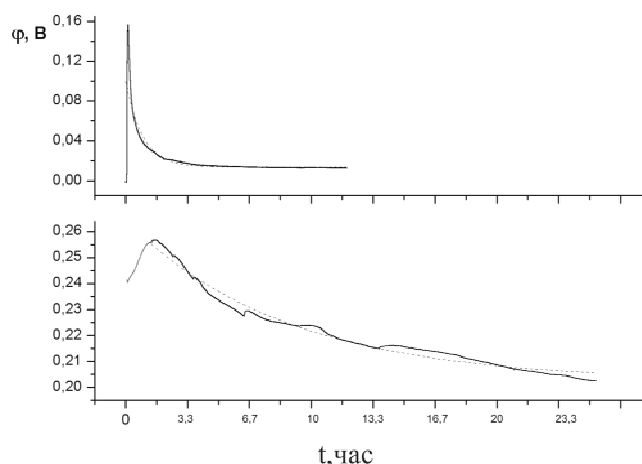


Рис. 2. Зависимость мембранных потенциалов от времени при полном осмосе МГА-95(верх), МГА-100(низ)  
(кривые — экспериментальная, ---- теоретическая)

Сравнительный анализ хода кривых  $\varphi(t)$  (рис. 1 и 2) выявил зависимость потенциала от структурных свойств мембран. При этом потенциал для обеих мембран в первые моменты времени растет, достигая максимального значения  $\varphi=160$  мВ для мембраны МГА-95 и  $\varphi=260$  мВ для мембраны МГА-100, соответственно. Затем асимптотически спадает и за промежуток времени более 12 часов достигает  $\varphi=28$  мВ для мембраны МГА-95 и  $\varphi=202$  мВ для мембраны МГА-100 (рис.2, кривые – сплошная линия).

Анализ и систематизация результатов эксперимента с использованием программы ORIGIN6 показали, что в процессе сорбции и прямого осмоса разных по структурам мембран можно проследить определенную закономерность. Так функциональная зависимость потенциала от времени при сорбции воды может быть представлена уравнением:

$$\varphi = \varphi_{max} - \varphi_0 \cdot e^{-\beta t}, \quad (1)$$

где  $\beta$  – коэффициент сорбции, а  $\varphi_0 \cdot e^{-\beta t} = \zeta$  – потенциал.

Значения  $\varphi_{max}, \varphi_0 \cdot e^{-\beta t} = \zeta$  – потенциал,  $\beta$  были рассчитаны по времени релаксации и представлены в таблице 1.

Это уравнение хорошо описывает, с одной стороны, экспериментальные кривые на рис. 1, а с другой – данные по коэффициенту сорбции и согласуется с величинами, полученными в работе [9].

Функция  $\varphi(t)$  для прямого осмоса представляет экспоненциальную зависимость для возрастающей части кривой как уравнение 1 и убывающей части, как

$$\varphi_{осм} = \varphi_{min} + \varphi_0 \cdot e^{-P(t-\tau)}, \quad (2)$$

где  $P$  – коэффициент проницаемости (или релаксации);  $\tau$  – время сорбции мембраны в растворе (для мембран МГА-95 – 0,5 ч, МГА-100 – 1 ч) до максимального потенциала.

Данные  $\beta_1, P, \varphi_0 \cdot e^{-P(t-\tau)} = \zeta$  (дзета) потенциал представлены в таблице 1.

Такая зависимость свидетельствует, вероятнее всего, о том, что на активных мембранах в процессе сорбции возникает скачок потенциала (уравнение 1) ( $\zeta$  – потенциал) за счет кинетических явлений, который вносит вклад в собственный потенциал мембраны.

Таблица 1. Данные  $\beta_1$ ,  $P$ ,  $\varphi_0 \cdot e^{-P(t-\tau)}$  –  $\zeta$  (дзета) потенциал

Марка мембраны	Сорбция				Прямой осмос				
	$\zeta$ - потенциал, мВ		$\varphi_{\max}$ , мВ	$\beta$ , $\cdot 10^{-3}$ с $^{-1}$	$\zeta$ - потенциал, мВ		$\varphi_{\min}$ , мВ	$\beta_1$ , $\cdot 10^{-3}$ с $^{-1}$	$P_x$ , $\cdot 10^{-5}$ с $^{-1}$
	min	max			min	max			
МГА-95	-19.6	-53	164	9	+26	+70	28	5.5	11
МГА-100	-27	-75	215	5	+23	+62	202	2.5	3.4

Затем в процессе прямого осмоса происходит уменьшение потенциала вследствие изменения направления движения молекул, ионов через поры мембраны на величину электрокинетического  $\zeta$  -потенциала, а мембранный потенциал стремится к предельным минимальным величинам  $\varphi_{\min} = 28$  мВ для МГА-95 и  $\varphi_{\min} = 202$  мВ для МГА-100, но не достигает их (рис. 2).

### Заключение

Таким образом, есть основания считать, что в определенный момент времени ( $t_p$ ) наступает динамическое равновесие между гидродинамической силой, определяемой осмотическим давлением ( $\pi = \rho gh$ ) и электродвижущей силой мембранного потенциала. Это связано со временем релаксации (коэффициентом проницаемости  $P$ ) как  $t_p \geq (1/P)$ . При этом  $\zeta$ -потенциал меняет знак от отрицательного значения для сорбции на положительный при осмосе. Рассчитанные значения коэффициентов сорбции, проницаемости и  $\zeta$  -потенциала полупроницаемых мембран МГА-95 и МГА-100 коррелируются с коэффициентами, приведенными в работе [9].

### Список литературы

1. Хванг С.-Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения: пер. с англ. / под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия, 1981. 464 с.
2. Карелин Ф.Н. Обессоливание воды обратным осмосом. М.: Стройиздат, 1988. 208 с.
3. Духин С.С., Чураев Н.В., Ярощук А.Э. Обратный осмос и диэлектрические свойства // Химия и химическая технология воды. 1984. Т. 6. № 4. С. 291-301.
4. Лазарев С.И., Быстрицкий В.С., Головин Ю.М. и др. Иерархо-упорядоченная структура порового пространства обратноосмотических композиционных мембран с позиции фрактального подхода // Вестник ДГУ. 2012. № 6. С. 234-238.
5. Поликарпов В.М., Лазарев С.И., Головин Ю.М. и др. Экспериментальное исследование пористой структуры обратноосмотических композиционных мембран методом МУРР // Конденсированные среды и межфазные границы. 2010. Т.12. №4, С. 382-385.
6. Вендельштейн Б.Ю. Исследование разрезов нефтяных и газовых скважин методом собственных потенциалов. М. 1966. 206 с.
7. Мулдер М. Мембраны. - М.: Мир, 1999. 513 с.

8. Чураев А.В. Физикохимия процессов массопереноса в пористых телах. М.: Химия. 1990. 272 с.

9. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию. М. : ДеЛи принт, 2007. 208 с.

---

**Лазарев Сергей Иванович** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой каф. прикладной геометрии и компьютерной графики, ТГТУ, Тамбов

**Головин Юрий Михайлович** - к.х.н., доцент, каф. физика, ТГТУ, Тамбов

**Мицул Ион Петрович** – студент, ТГТУ, каф. радиотехники, ТГТУ, Тамбов

**Никитенков Дмитрий Олегович** – студент, ТГТУ, каф. радиотехники, ТГТУ, Тамбов

**Поликарпов Валерий Михайлович** - д.х.н., доцент, ТГТУ, каф. физики, ТГТУ, Тамбов

**Холодили Валерий Николаевич** – ассистент, каф. физики, ТГТУ, Тамбов

**Хорохорина Ирина Владимировна** – аспирант, ТГТУ, каф. прикладной геометрии и компьютерная графика, ТГТУ, Тамбов

**Lazarev Sergey I.** - Dr.Sci.Tech., the professor Head of the Department TSTU, chair Applied geometry and a computer drawing, Tambov, E-mail [geometry@mail.nnn.tstu.ru](mailto:geometry@mail.nnn.tstu.ru)

**Golovin Yuri M.** - Ph.D. in Chemistry, Associate Professor, Associate Professor, chair Physics, TSTU, Tambov

**Mitsul Ion P.** - student, chair Physics, Tambov

**Nikitenko Dmitry O.** - student, chair Physics, Tambov

**Polikarpov Valeriy M.** - Dr.Sci.Chem., Associate Professor, , chair Physics, TSTU, Tambov

**Holodilin Valeryi N.** - assistant, chair Physics, TSTU, Tambov

**Khorokhorina Irina V.** - PhD student, chair Applied geometry and a computer drawing, TSTU, Tambov